

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra výrobních strojů a konstruování

Návrh lanového výtahu nosnosti 600 kg

Design of Cable Lift with Loading Capacity 600 kg

Student: Tomáš Kaufman

Vedoucí bakalářské práce: doc. Ing. Jiří Fries, Ph.D.

Ostrava 2012

Zadání bakalářské práce

Student: **Tomáš Kaufman**
Studijní program: B2341 Strojírenství
Studijní obor: 2302R010 Konstrukce strojů a zařízení
Specializace: 70 Zemní, těžební a stavební stroje
Téma: **Návrh lanového výtahu nosnosti 600 kg**
Design of Cable Lift with Loading Capacity 600 kg

Zásady pro vypracování:

Navrhněte rám klece, rošt stroje, vyvažovací závaží pro zadané rozměry šachty a nosnost výtahu. Proveďte také pevnostní analýzu jednotlivých částí výtahu. Návrh proveďte s ohledem na co nejnížší cenu. Bližší specifikace provozních podmínek a parametrů určí zadavatel - Ing. Tomáš Meisner.

Seznam doporučené odborné literatury:

JERÁBEK, K. *Metodika navrhování strojů*. 1. vydání, Praha: Ediční středisko ČVUT v Praze, 1999. 119 s.
LEINVERT, J. - ŘASA, J. - VÁVRA, P. *Strojnické tabulky*. Praha: Scientia, Praha, 1999. ISBN 80-7183-164-6
KALÁB, K. *Části a mechanismy strojů pro bakaláře - části spojovací*. Ostrava: Ediční středisko VŠB-TUO, Ostrava, 2007. ISBN 978-80-248-1290-8
REMTA, F. - KUPKA, L. - DRAŽAN, F. *Jeřáby I. díl*. Praha: Druhé vydání SNTL Praha 1974. 637 st.
ČSN 01 6910 *Úprava písemností psaných strojem nebo zpracovaných textovými editory*. Praha: Český normalizační institut, srpen 1997. 36 s.
ČSN ISO 690 *Bibliografické citace. Obsah, forma a struktura*. Praha: Český normalizační institut, 1996. 32 s.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. Jiří Fries, Ph.D.**

Datum zadání: 16.12.2011

Datum odevzdání: 21.05.2012

doc. Dr. Ing. Ladislav Kovář
vedoucí katedry




prof. Ing. Radim Farana, CSc.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě.....**21.5.2012**



.....

podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že bakalářská práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě:.....**21.5.2012**.....



.....
Podpis

Jméno a příjmení autora práce: Tomáš Kaufman

Adresa trvalého pobytu autora práce: U Lesa 731, 734 01, Karviná – Ráj

ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Kaufman, T. Návrh lanového výtahu nosnosti 600 kg : bakalářská práce. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra výrobních strojů a konstruování, 2012, 58 s. Vedoucí práce: Fries, J.

Bakalářská práce se zabývá zjišťováním reakcí a napětí v rámu výtahu o nosnosti 600 kg. V úvodu se věnuji vývoji vertikální přepravy. Poté se věnuji popisu jednotlivých druhů rámu s odůvodněním proč zrovna byla použita tato varianta počítaného rámu. V další části se zaměřuju na výpočet napětí v nejvíce zatíženém svislém tahu a šikmé výztuze. Po té zjišťuji napětí univerzálního nosníku při dosednutí na nárazník a při přenášení sil do závěsu lan. Z výsledků navrhuji konstrukční úpravy nosníku uvedené na výkresu v příloze bakalářské práce.

ANNOTATION OF BACHELOR THESIS

Kaufman, T. Design of Cable Lift with Loading Capacity 600 kg: Bachelor Thesis. Ostrava: VŠB - Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Production Machines and Design, 2012, 58 p. Thesis head: Fries, J.

The bachelor thesis is going to discuss the detection of reactions and tensions in the frame with the lift capacity of 600 kg. In the beginning I devote to the development of vertical transport. Then I describe the various types of frame with the reasons why this option of calculated frame was used. In the next part I Focus on the calculation of stresses in the most loaded vertical and diagonal tension reinforcement. After that I am looking for a tension in universal beam when it hit on the bumper and when it transmitting forces to the suspension ropes. From the results I designing structural modificatons of the beam mentioned on the drawing in appendix of this bachelor thesis.

OBSAH

0	ÚVOD.....	9
1	HISTORIE VERTIKÁLNÍ PŘEPRAVY.....	10
1.1	Minulost vertikální přepravy.....	10
1.2	Současnost vertikální přepravy.....	13
1.3	Budoucnost vertikální přepravy.....	17
2	TYPY RÁMŮ.....	18
3	VÝPOČTY.....	22
3.1	Stanovení rozměrů podlahy.....	22
3.2	Stanovení hlavních bodů působení sil na podlahu a jejich přenos na svislé tahy.....	22
3.3	Posouzení použitelnosti programu RuckZuck k výpočtu sil v rámu.....	26
3.4	Napětí v nejvíce zatíženém svislém tahu bez použití šikmého tahu.....	32
3.5	Napětí v šikmém a svislém tahu pro spojitě zatížení kabiny a nosnost dle výpočtu.....	36
3.6	Napětí v šikmém a svislém tahu pro spojitě zatížení kabiny a nosnost tvořenou dvěma osobami.....	40
3.7	Napětí v šikmém a svislém tahu pro spojitě zatížení kabiny a nosnost tvořenou jednou osobou.....	43
3.8	Napětí v univerzálním nosníku.....	47
3.9	Napětí ve zmenšeném univerzálním nosníku.....	53
4	ZÁVĚR.....	57
5	POUŽITÁ LITERATURA.....	58
6	SEZNAM PŘÍLOH.....	58

SEZNAM POUŽITÉHO ZNAČENÍ

D_x	délka podlahy	[mm]
D_y	šířka podlahy	[mm]
E	modul pružnosti oceli	[MPa]
F_S	zatížení prahu během nástupu a výstupu	[N]
F_{ST}	síla v šikmém tahu	[N]
F_T	síla ve svislém tahu	[N]
J	kvadratický moment průřezu	[mm ⁴]
J_{yT}	kvadratický moment průřezu k ose ohybu y	[mm ⁴]
J_{zT}	kvadratický moment průřezu k ose ohybu z	[mm ⁴]
k_s	koeficient bezpečnosti	[-]
M_B	ohybový moment bodu B	[Nm]
M_R	ohybový moment ve svislém tahu v nárysu	[Nm]
M_T	ohybový moment ve svislém tahu v bokorysu	[Nm]
$M_{(x1)}$	moment na proměnné vzdálenosti x_1	[Nm]
$M_{(x2)}$	moment na proměnné vzdálenosti x_2	[Nm]
Q	nosnost výťahu	[kg]
R_1	reakce přecházející do svislého tahu	[N]
R_2	reakce přecházející do šikmého tahu	[N]
R_{AC}	celková reakce bodu A v ose y	[N]
R_{Ax}	reakce bodu A v ose x	[N]
R_{Ay}	reakce bodu A v ose y	[N]
R_{Bx}	reakce bodu B v ose x	[N]
R_{By}	reakce bodu B v ose y	[N]
R_{Cx}	reakce bodu C v ose x	[N]
R_{Cy}	reakce bodu C v ose y	[N]
R_{PA}	reakce do tíhy kabiny na straně A	[N]
R_{PB}	reakce do tíhy kabiny na straně B	[N]
R_{QA}	reakce od nosnosti na straně A	[N]
R_{QB}	reakce od nosnosti na straně B	[N]
R_{QA+}	reakce od zvýšené nosnosti na straně A	[N]
R_{QB+}	reakce od zvýšené nosnosti na straně B	[N]
S	plocha průřezu	[mm ²]
T_1	síla od nosnosti kabiny	[N]

T_2	síla od tíhy kabiny	[N]
T_{2q}	spojitá tíha kabiny na straně A	[Nm ⁻¹]
T_p	tíha osoby stojící 150mm od stěny	[N]
W_{oy}	průřezový modul k ose ohybu y	[mm ³]
W_{oz}	průřezový modul k ose ohybu z	[mm ³]
ΣF_x	suma sil na ose x	[N]
ΣF_y	suma sil na ose y	[N]
ΣM_A	suma všech momentů k bodu A	[Nm]
ΣM_c	suma všech momentů k bodu C	[Nm]
x_1	proměnná vzdálenost 1	[mm]
x_2	proměnná vzdálenost 2	[mm]
x_p	poloha těžiště kabiny v ose x	[mm]
x_Q	poloha těžiště nosnosti v ose x	[mm]
y_p	poloha těžiště kabiny v ose y	[mm]
y_Q	poloha těžiště nosnosti v ose y	[mm]
y_T	těžiště průřezu svislého tahu na ose y	[mm]
z_T	těžiště průřezu svislého tahu na ose z	[mm]
α	úhel mezi šikmou výztuhou a podlahou	[°]
σ_c	celkové napětí	[MPa]
σ_o	napětí v ohybu	[MPa]
σ_{oy}	napětí v ohybu na ose y	[MPa]
σ_{oz}	napětí v ohybu na ose z	[MPa]
σ_t	napětí v tahu	[MPa]
φ_A	úhel natočení v bodě A	[rad]

0 ÚVOD

V této bakalářské práci se budu zabývat zjišťováním vnitřních reakcí a napětí rámu výtahu o nosnosti 600 kg. Vnitřní reakce a s nimi spojená napětí budu zjišťovat pro situace které mohou při provozu výtahu nastat. Takovými situacemi je nástup osoby vážící více než je průměrná hmotnost 75 kg, postavení dvou hmotných postav do zadní části kabiny a hlavně zjištění hodnot vznikajících při zatížení kabiny dle normalizovaného vypočtu.

Veškeré hodnoty budou zjišťovány jak při běžném provozu tak i za působení zachycovačů. V případě univerzálního nosníku budou zjišťovány i hodnoty při dosednutí na nárazník.

Podstatné pro vypracování mé bakalářské práce budou publikace: Bezpečnostní předpisy pro konstrukci a montáž výtahů – Část 1: Elektrické výtahy. Z které budu čerpat potřebné údaje pro zjištění místa působení nosnosti, maximální možná plocha podlahy pro danou nosnost a jiné. Dalšími důležitými knihami pro mne budou Pružnost a pevnost, Statika a v neposlední řadě Strojnické tabulky.

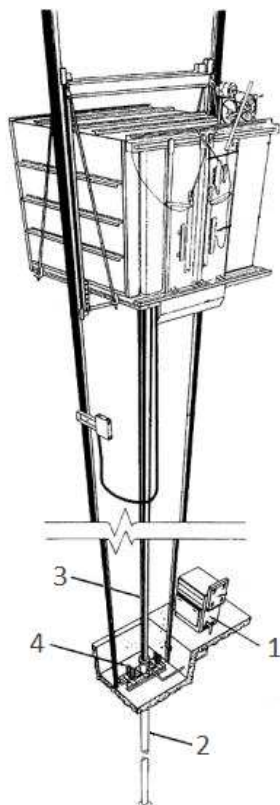
1 HISTORIE VERTIKÁLNÍ PŘEPRAVY

1.1 Minulost vertikální přepravy

První písemná zmínka o výtahu pochází z doby mnoho set let zpět a je v ní psáno o Archimedovi jakožto staviteli onoho výtahu někdy v době 236 před naším letopočtem. V pozdějších historických spisech je tento výtah popisován jako kabina zavěšená na konopném laně poháněná lidmi nebo zvířaty.

V polovině 19. století prakticky veškeré výtahy, které již začínali připomínat ty dnešní, byli nákladní s obsluhou. Jejich nejčastější způsob pohonu byl lanový skládající se z parního stroje, který poháněl navíjecí buben (trakční pohon byl vynalezen mnohem později). Pomalu se také začínali objevovat lana ocelová místo konopných. Jejich kvalita z počátku nebyla však příliš vysoká, což vedlo jen k pozvolnému nahrazování konopných lan.

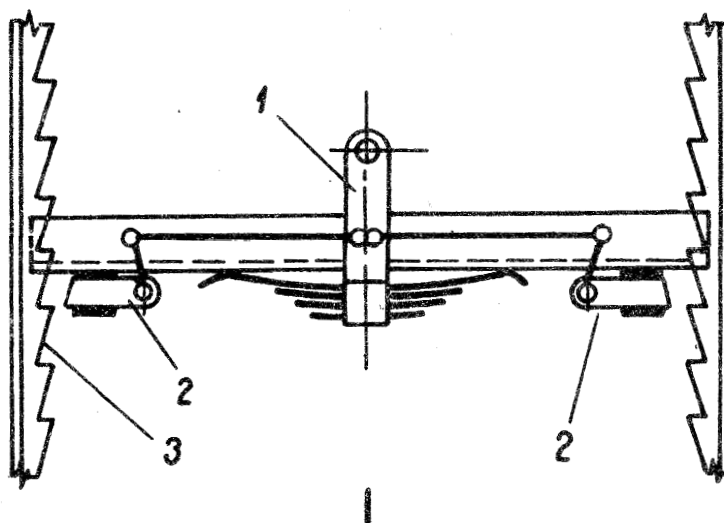
V druhé polovině 19. století dochází také ke stavbě hydraulických výtahů. Jako hnací médium byla využívána čistá voda na rozdíl od dnešních olejových emulzí. Systém byl v té době vhodný do výškových budov, kde nemohl být použit bubnový výtah z důvodu malého zdvihu a také malé rychlosti pojezdu oproti hydraulickým výtahům. Nevýhodou systému byla z počátku nutnost vytvořit prohlubeň, hlubokou skoro stejně jako byla výška samotné budovy nebo zahloubit válec do plytké prohlubně jak je to na obrázku 1.1, do které byl umístěn přímočarý hydraulický motor pohánějící klec přímo (hlava pístu byla přichycena přímo na rámu). Proto byl v roce 1868 vynalezen nepřímý způsob pohonu pomocí lan, která byla jedním koncem uchycena v nepříliš hluboké prohlubni odkud dále procházela přes kladku umístěnou na hlavě pístu hydraulického přímočarého motoru stojícího vedle klece na níž byla lana druhým koncem taktéž přichycena.



Obrázek 1.1 – Přímý hydraulický výtah [6]

1 – hydrogenerátor, 2 – hydraulický válec umístěný v zemi, 3 – hydraulický píst,
4 – nárazníky

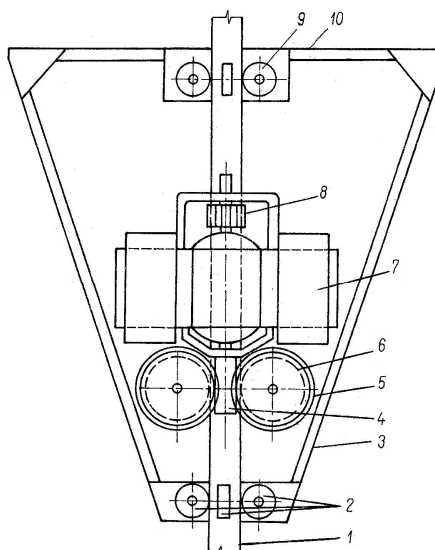
Vůbec nejdůležitějším vynálezem ve výtahovém odvětví byli zachycovače, zobrazené na obrázku 1.2, bránící v pádu kabiny po přetržení lana nebo samovolném úniku kapaliny z hydraulického válce. Vynálezcem zachycovačů byl Elisha Grawes Otis, který je prvně použil na nákladním výtahu v New Yorku. Představení výtahových zachycovačů veřejnosti proběhlo v roce 1854 na veletrhu v New Yorku na výstavě v Crystal Palace kde instaloval v hlavní hale výtah. Naložil plošinu výtahu nákladem a nechal se svými pomocníky vyzdvihnout do výše čtvrtého patra odkud vysvětlil funkci svého zařízení. Po té nařídil pomocníkům, aby přeřízli nosné lano. K úžasu mnoha přihlízejících se plošina posunula pouze o pár centimetrů níže a zastavila. Do tleskajícího davu Elisha Otis vykřikl: „Vše je bezpečné pánové, vše bezpečné!“. Roku 1857 byl do obchodního domu Hougwouth's v New Yorku nainstalován prvně v historii bezpečný výtah určený pro dopravu osob.



Obrázek 1.2 – První klec výtahu se zachycovači (OTIS) [4]

1 - závěs klece, 2 - zachycovače, 3 - hřebeny vodítek klece

Posledním významným krokem ve vývoji výtahu byl vynález elektrického pohonu Wernerem von Siemensem, který jej představil roku 1880. Motor byl zpočátku uchycený pod kabinou, zobrazeno na obrázku 1.3, a zabíral pomocí ozubených kol do ozubnic umístěných na vodítku. Takovýto způsob pohonu se dnes používá jen u stavebních výtahů. Tři roky od uvedení elektrického pohonu již první takto vybavené výtahy dopravují cestující, čímž předznamenal konec pohonu parními stroji, které byli náročné na údržbu.



Obrázek 1.3 – První elektrický pohon výtahu [4]

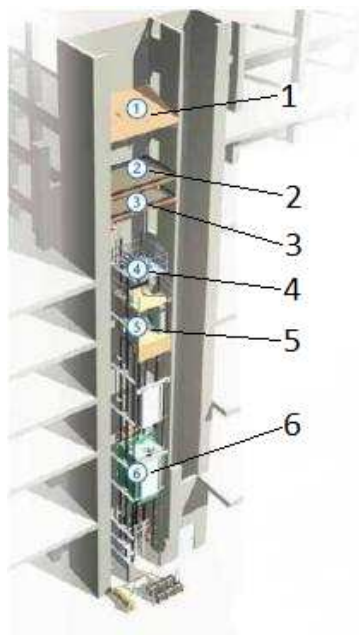
1 – vodítka klece, 2 – vodící kladky klece, 3 – spodní rám klece, 4 – šnekový převod pro pohon tažných ozubených kol klece, 5 – tažná ozubená kola, 6 – šneková kola převodu, 7 – elektromotor, 8 – kolektor elektromotoru, 9 – horní vodící kladky klece, 10 – podlaha klece

Od té doby se již příliš nezměnilo, jen došlo k zdokonalení jednotlivých částí výtahů jako například účinnější a menší motory, zavedení frekvenčních měničů pro plynulý rozjezd a dojezd klece, kvalitní lana která vydrží mnoho let bez poškození, zachycovače které jsou schopné zastavit klec v případě nadměrné rychlosti v obou směrech a jiná vylepšení vedoucí k vysoké bezpečnosti a komfortnosti jízdy dnešních výtahů.

1.2 Současnost vertikální přepravy

Zajímavým pokrokem ve vývoji výtahu je jeho způsob montáže do šachty v nově budované stavbě. Dosud byl výtah montován až ve chvíli kdy byla celá šachta i s prostorem strojovny hotová. Firma Kone však vymyslela technologii vybavování šachty určenou pro výškové budovy zvanou JumpLift, zobrazenou na obrázku 1.4, která dovoluje instalaci a užívání výtahu již od chvíle zhotovení několika prvních pater umožňujících umístění nutných bezpečnostních prvků nutných pro bezpečný provoz a práci. Takový výtah se skládá ze dvou stropů bránících před deštěm a případnými padajícími předměty z horních budovaných pater, instalační platformy sloužící k vybavování šachty vodičky a dalšími komponenty nutnými k provozu výtahu, dočasné strojovny s výtahovým rozváděčem a platformy určené ke zvedání celé technologie do dalších pater pro jejich vybavení. Po dokončení stavby je vybavena trvalá strojovna, kabina výtahu předělána z pracovní podoby do finální a v jednotlivých patrech doplněny dveře a signalizace. Výhodami této technologie je rychlejší a bezpečnější přístup do vybavovaných spodních pater a nepotřebnost vnějšího zdvihacího zařízení.

V dnešní době se také využívají tzv. bezstrojovnové výtahy, které neobsahují strojovnu umístěnou nad šachtou. Výtahový stroj je místo toho umístěn v prostoru hlavy šachty na vodičku nebo speciální konstrukci uchycené na stěnách šachty. Takové umístění stroje je umožněno použitím bezpřevodového stroje s lanováním 2:1, snižující zatížení stroje o polovinu, který je malých rozměrů a relativně malé hmotnosti. Takovýto typ výtahu je vhodný do nových budov nebo pro výměnu stávajícího pomalého a na provoz nákladnějšího hydraulického výtahu o výšce maximálně 20. pater. Elektrický rozvaděč je z důvodu chybějící strojovny umístěn na chodbě ve vrchním patře vedle výtahových dveří.



Obrázek 1.4 – JumpLift [7]

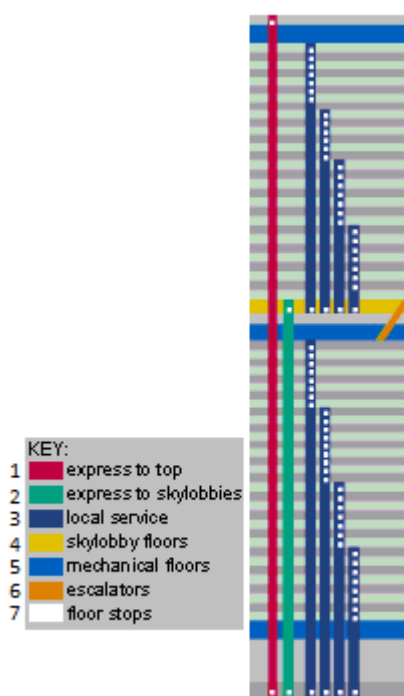
1 – 1. bezpečnostní strop, 2 – 2. bezpečnostní strop, 3 – pracovní podlaží, 4 – instalační plošina, 5 – dočasná strojovna, 6 – permanentní výtah

Nejčastějším způsobem zavěšení kabiny je pomocí běžný pletených lan. Firma Otis však vymyslela a nechala si patentovat lanové pásy, znázorněné na obrázku 1.5, které jsou tvořeny jednotlivými prameny běžného lana umístěnými vedle sebe a potaženými polyuretanem. Šířka pásu je 30mm a tloušťka pouhé 3mm. Takovýto pás je nejenom stejně silný jako pletené lano, ale i odolnější, pružnější a umožňuje použití kladky o průměru 100mm. Díky těmto vlastnostem se pás velice hodí pro použití u bezstrojovnových výtahů kde umožňuje použití opravdu velice malých bezpřevodových strojů.



Obrázek 1.5 – ploché lano s polyuretanovými vlákny [8]

U velmi vysokých budov, 100 pater a více, je provoz výtahů se stanicemi ve všech patrech velice nevýhodný jelikož v době příchodu lidí do zaměstnání by docházelo k vzniku značných front čekajících na výtahy dopravujících je po celé budově, stejně tak by vznikali fronty na jednotlivých patrech při odchodu domů. Proto byli zavedeny výtahy expresní a lokální. Expresní výtahy dopravují větší množství lidí vyšší rychlostí pouze do jediného přestupního patra, které je umístěné přibližně uprostřed budovy pokud je jediné. Na přestupním patře a v přízemí jsou umístěny výtahy lokální, které v případě použití tří výtahů mají rozdělené stanice na blokové třetiny. Pokud je použito více přestupních stanic je i více expresních výtahů, které vždy dopravují jen do jednoho přestupního patra. Rychlost výtahů směrem nahoru je až $16 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Dolů, aby se lidem nedělalo nevolno, $8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$.



Obrázek 1.6 – Expresní a lokální výtahy [9]

1 – expresní výtah do posledního patra, 2 – expresní výtah na přestupní patro, 3 – lokální výtahy, 4 – přestupní patro, 5 – strojovny, 6 – eskalátory, 7 – stanice výtahů

Vylepšením expresních a místních výtahů je užitím jejich dvoupodlažních verzí. Výtah se skládá z dvou kabin namontovaných nad sebou. Spodní kabina slouží k dopravě do lichých pater a horní do sudých pater. Přestupní patra a přízemní patro jsou vyšší mají rozdělný prostor terasou, obsluhovanou eskalátory, sloužící k přístupu k vrchní kabině výtahu. Rychlost výtahů je až $8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Takovýto způsob přepravy osob je momentálně tím nejefektivnějším způsobem dopravy ve výškových budovách.

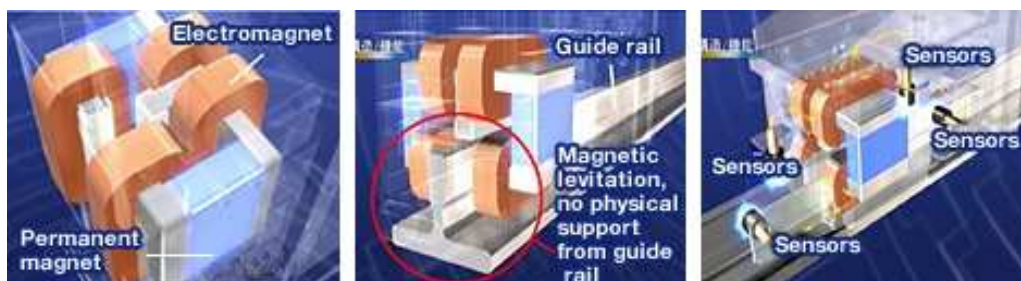
Původně používané manuální ovládání výtahů se muselo přestat používat v době kdy výtahy překročily rychlost $2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, která byla hraniční pro dostatečně rychlou reakci obsluhy na zastavení výtahu na požadovaném patře. Proto bylo zavedené automatické ovládání výtahu, které bylo z počátku tvořené složitými a na údržbu náročnými mechanickými částmi. S příchodem digitalizace se však zařízení zbavila mechanických částí, čímž se stala bezpečnějšími mnohem méně poruchovými.

Jistou modernizací prošlo i přivolávání výtahu. Dosud byl výtah přivoláván pomocí tlačítka umístěného na výtahových dveřích což je vzhledem k době čekání na výtah neefektivní. Proto byl vytvořen systém, který se hodí především do kancelářských budov, přivolávání výtahu již v prostoru vstupu do budovy. Existují dvě možnosti přivolání výtahu a to buď přiložením čipové karty pracovníka s uloženou cílovou stanicí k turniketu nebo zadáním cílové stanice pomocí klávesnice sloužící například pro návštěvy budovy. Následně se na displeji turniketu zobrazí číslo výtahu do kterého má pracovník či jiná osoba nastoupit a odchází k nástupišti kde čeká na výtah kratší dobu nebo rovnou nastupuje. Systém se zároveň snaží rozřazovat osoby do jednotlivých výtahů tak, aby byl počet výstupních stanic co nejmenší.

S příchodem internetu se objevili i nové možnosti kontroly stavu výtahu kdy již není třeba časté vizuální kontroly. Takové uvolnění pracovní síly je možné díky permanentnímu elektronickému monitorování stavu výtahu. Systém pracuje na principu kde diagnostický software sbírá údaje o stavu zařízení z jednotlivých čidel jako je teplota motoru, otáčky motoru, osvětlení kabiny a další. Údaje jsou dále zasílány pomocí bezdrátové sítě na centrální server v němž jsou data z jednotlivých výtahů seřazeny podle klíče, který bere v potaz závažnost odchylky příchozích údajů od běžného stavu. Následně jsou údaje zobrazeny kvalifikovanému pracovníkovi, který rozhodne zda je třeba zaslat technika k výtahu. Pokud ano, technik vyráží na místo již s informacemi o jaký problém se jedná a potřebným vybavením pro jeho nápravu. Díky takovéto rychlosti zjištění vznikající závady se předchází případným značným nákladům na pozdější opravu výtahu a jeho době vyřazení z provozu.

1.3 Budoucnost vertikální přepravy

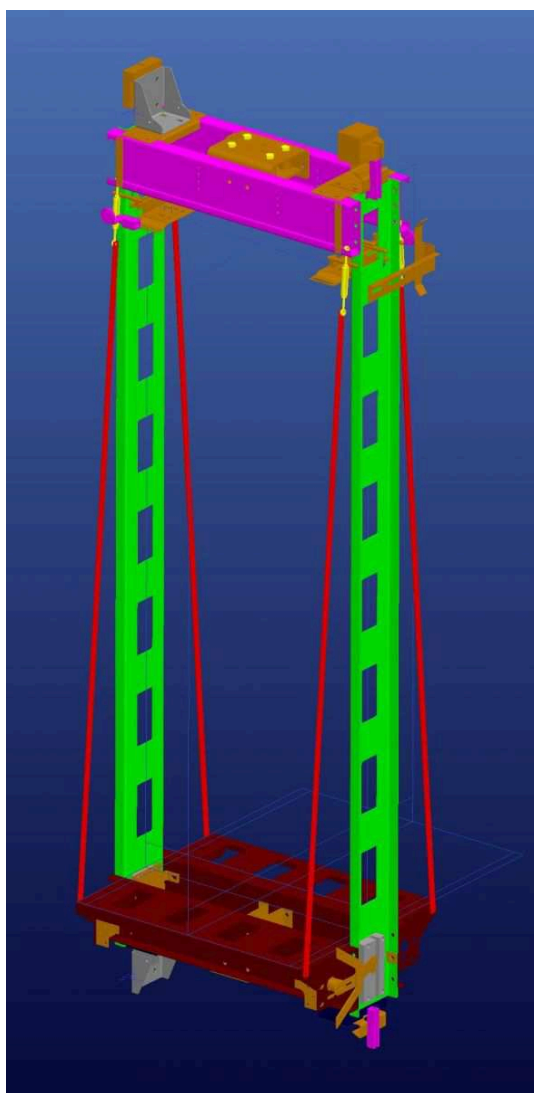
Ve velice blízké budoucnosti se na trh s výtahy dostane nový typ vedení podél vodiček, jeho název je MagSus patřící společnosti Toshiba. Bude využívat principu magnetické levitace, která se používá u vlaků Maglev. Jejich výsadou bude úplné odstranění hluku a vibrací v kabině způsobených při průjezdu spojem mezi jednotlivými vodičky, odstranění tření mezi vodičkem a vedením, a odstranění nutnosti použít maziva snižující tření. Zařízení se bude skládat z permanentních magnetů, elektromagnetů a hlídacích senzorů, zobrazeno na obrázku 1.7. Permanentní magnety budou sloužit k vytváření dostatečně velkých magnetických sil, které je potřeba k vytvoření magnetické levitace. Samotné permanentní magnety by však nestačili k vytvoření stabilní magnetické elevace, proto jsou zde elektromagnety, které upravují velikost magnetických polí jednotlivých čelistí podle údajů ze senzorů hlídajících jejich správnou vzdálenost od vodiček. Přičemž ze správné polohy se snaží dostat čelisti měnící se působíště těžiště ovlivněné počtem cestujících a jejich pohybem v kabině. Takovýto způsob vedení kabiny bude vhodný pro rychlosti vyšší jak $5\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ kdy jsou již projevy kontaktu čelisti s vodičkem značné a budovy vyšší jak 100m.



Obrázek 1.7 – MagSus [10]

2 TYPY RÁMŮ

Hlavním způsobem rozdělení rámu je podle způsobu zavěšení na lanech. V našich končinách je nejpoužívanějším způsobem závěs v hlavě rámu s převodovým poměrem 1:1, obrázek 2.1. Tato skutečnost je dána tím, že je u nás mnoho výtahů postavených v předrevoluční době kdy se stavěli hlavně výtahy s převodovými stroji s velkými třecími kladkami nedbajíc na spotřebu energie, která byla oproti dnešním strojům značná. Taktéž dalším důvodem byla nízká nosnost výtahů.

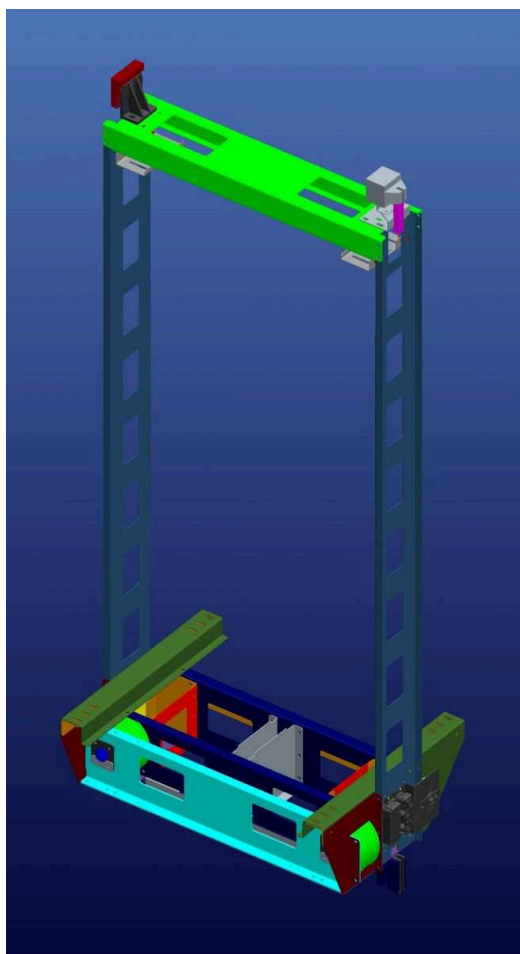


Obrázek 2.1 – Rám se závěsem v hlavě [11]

V dnešní novostavbách se již příliš nepočítá se strojovnou, která zabírá příliš místa. Proto se stroj umísťuje přímo do šachty. Z toho vyplývá nutnost použít převodový poměr 2:1. Tím pádem v hlavě rámu nejsou lana uchycená přímo, ale procházejí přes kladku. Kladka může být jedna nebo dvě. Jedna kladka se používá v případě, že výtah má

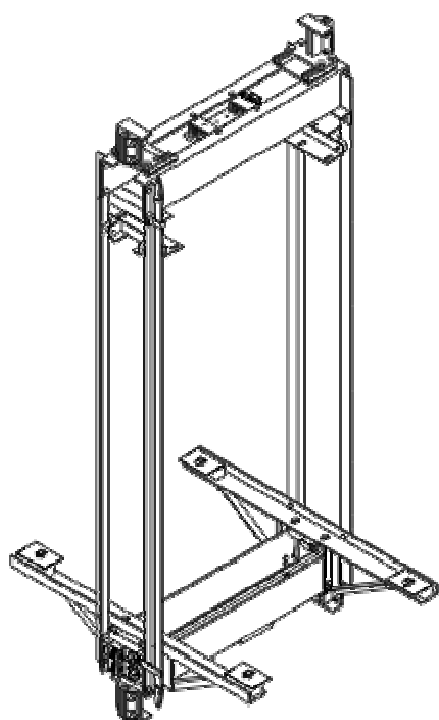
strojovnu, ale nosnost se zvýšila na takovou hodnotu, že by stroj musel být příliš velký na zvedání kabiny při převodovém poměru 1:1. Dvě kladky se používají běžně při umístění stroje do šachty.

Další možností umístění lanování výtahu je pod rámem, obr. 2.2. Výhodou je mnohem větší prostor k pohybu na kabině a možnost použít menší horní nosník, který nepřenáší příliš velké síly. Nevýhodou je nutnost většího prostoru kolem kabiny pro lana.

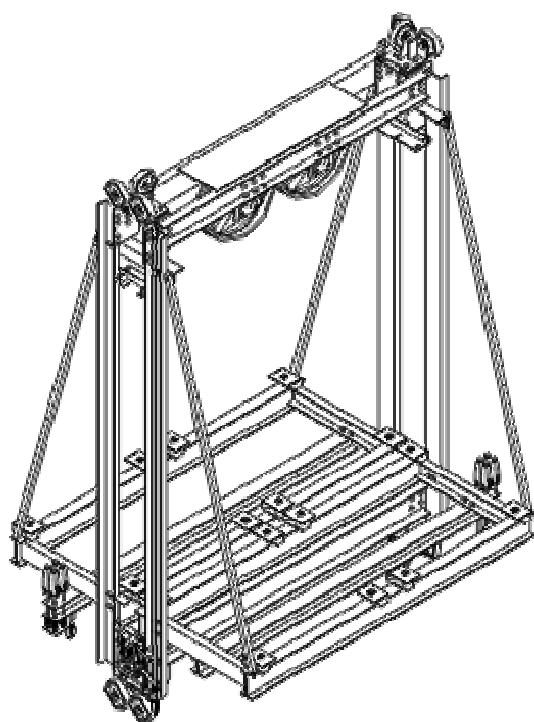


Obrázek 2.2 – Rám s kladkami pod kabinou [11]

Kabiny se také dají rozdělit podle uchycení kabiny. Pokud je kabina malá, stačí dostatečně vyztužit podlahu a umístit ji do rámu. V případě větších kabin je nutno použít šikmou výztuhu. Ta může být umístěna buď pod kabinou, viz obr. 2.3, nebo vedle kabiny, viz obr. 2.4. Pod kabinou umístěná výztuha značně zvětšuje výšku rámu pokud má svou funkci plnit správně. Výztuha vedle kabiny nijak nezvyšuje nároky na prostor a navíc dovoluje uchycení až na kraji kabiny čímž umožňuje lepší přenos sil.



Obrázek 2.3 – Rám s šikmými výztuhami pod kabinou [12]

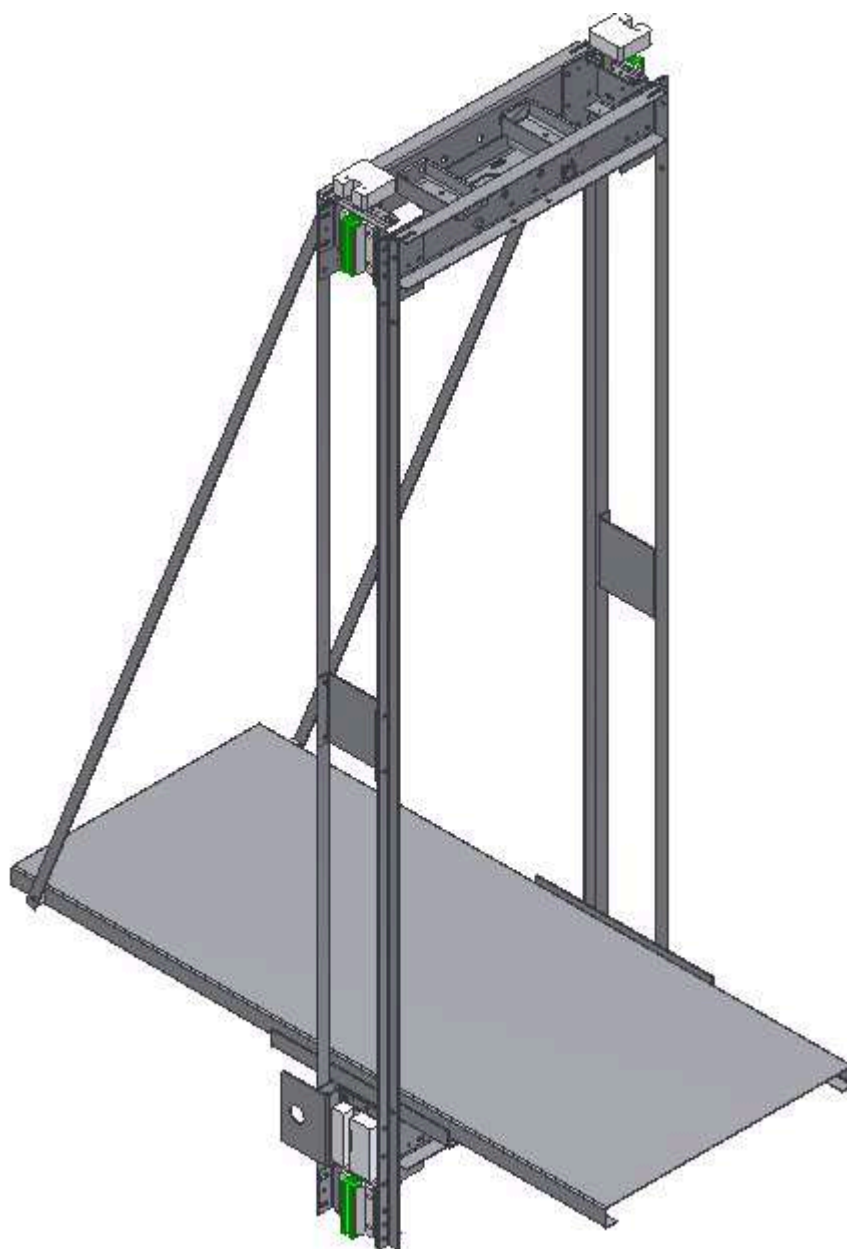


Obrázek 2.4 – Rám s šikmými výztuhami vedle kabiny [12]

Další možností rozdělení rámu je podle svislých tahů. Ty jsou nejčastěji z taženého profilu L nebo ohýbaného plechu do tvaru U. Tažený profil L má výhodu v nízké hmotnosti a lepším přístupu ke kabině během montáže. Ohýbaný plech do tvaru U má větší

tuhost, díky tomu se hodí pro použití bez šikmých výztuh. Na druhou stranu ale zhoršuje přístup ke kabině během montáže.

Počítaný rám, na obrázku 2.5, se tedy skládá z univerzálního nosníku umístěného v hlavě rámu a pod kabinou. V hlavě rámu je běžný závěs lan s vážením klece pro jeho nejčastější montáž. Svislé tahy jsou tvořeny taženým profilem tvaru L pro snadnější přístup ke kabině. Šikmý tah je tvořen táhlem uchyceným ve vrchní části rámu a druhým koncem v zadní části kabiny čímž se docílí potřebného odlehčení svislého tahu.



Obrázek 2.5 – Rám určený k výpočtu

3 VÝPOČTY

3.1 Stanovení rozměrů podlahy

Stanovení počtu osob podle nosnosti. Výpočet z normy [6].

$$\frac{Q}{75} = \frac{600}{75} = 8 \text{ osob [1]} \quad (3.1)$$

Tomuto počtu osob odpovídá dle tabulky 1.2 z normy [6] největší možná užitná plocha klece 1,6 m².

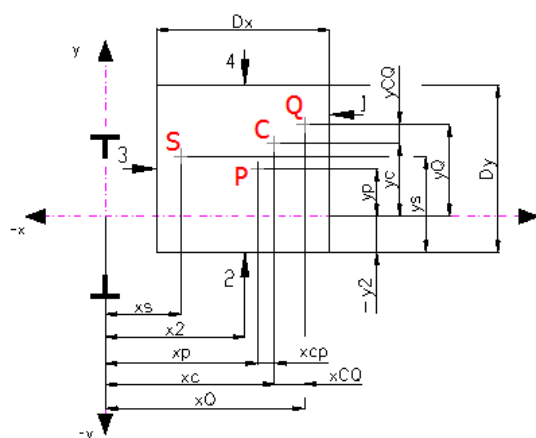
Rozměry podlahy

$$D_x \times D_y = 2 \times 0,8 = 1,6 \text{ m}^2 \quad (3.2)$$

Zvolené rozměry kabiny odpovídají maximální možné užitné ploše.

3.2 Stanovení hlavních bodů působení sil na podlahu a jejich přenos na svislé tahy

Pro potřeby následujících výpočtů je nutné zjistit těžiště kabiny a osob či nákladu při plném zatížení podle normalizovaných výpočtů. K zjištění místa působení sil slouží obr. 3.1. Pak nutno také zjistit jak se tyto síly přenášejí do svislých tahů na levé a pravé straně, zobrazeno na obr. 3.2.



Obrázek 3.1 – Rozložení zatížení

Poloha těžiště hmotnosti jmenovitého zatížení

Poloha těžiště na ose x. Výpočet z normy [6].

$$\begin{aligned}x_Q &= x_c + \frac{D_x}{8} \\x_Q &= 150 + \frac{2000}{8} \\x_Q &= 400 \text{ mm}\end{aligned}\tag{3.3}$$

Poloha těžiště na ose y. Výpočet z normy [6].

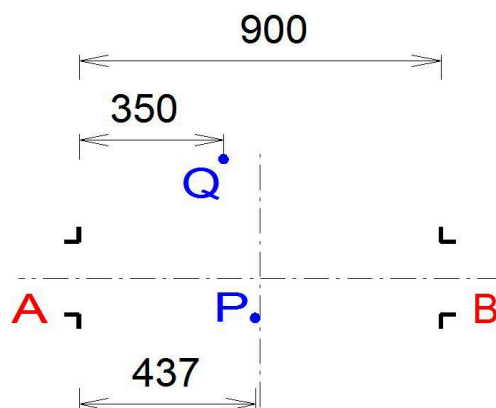
$$\begin{aligned}y_Q &= y_c + \frac{D_y}{8} \\y_Q &= 0 + \frac{800}{8} \\y_Q &= 100 \text{ mm}\end{aligned}\tag{3.4}$$

Poloha těžiště hmotnosti prázdné kabiny

$$\begin{aligned}x_p &= \frac{C_a \times x_c + O_p \times x_{op}}{P} \\x_p &= \frac{4000 \times 150 + 800 \times (-1115)}{4800} \\x_p &= -60,8 \text{ mm}\end{aligned}\tag{3.5}$$

$$\begin{aligned}y_p &= \frac{C_a \times x_c + O_p \times x_{op}}{P} \\y_p &= \frac{4000 \times 0 + 800 \times 80}{4800} \\y_p &= 13,3 \text{ mm}\end{aligned}\tag{3.6}$$

Reakce v tazích na levé a pravé straně od těžištních sil



Obrázek 3.2 – Poloha sil působících na dvojice tahů

Reakce od nosnosti kabiny

Reakce na levé straně

$$R_{QA} = \frac{Q \times 550}{900} \times 10 \quad (3.7)$$

$$R_{QA} = \frac{600 \times 550}{900} \times 10$$

$$R_{QA} = 3667 \text{ N}$$

Reakce na pravé straně

$$R_{QB} = \frac{Q \times 350}{900} \times 10 \quad (3.8)$$

$$R_{QB} = \frac{600 \times 350}{900} \times 10$$

$$R_{QB} = 2334 \text{ N}$$

Reakce od zvýšené nosnosti kabiny

Jedná se dle normy [6] o 125% nosnosti používané při schvalovacích zkouškách po dokončení výtahu.

Reakce na levé straně

$$R_{QA+} = 1,25 \times R_{QA} \quad (3.9)$$

$$R_{QA+} = 1,25 \times 3667$$

$$R_{QA+} = T_1 = 4584 \text{ N}$$

Reakce na pravé straně

$$R_{QB+} = 1,25 \times R_{QB}$$

$$R_{QB+} = 1,25 \times 2334$$

$$R_{QB+} = 2918 \text{ N}$$
(3.10)

Reakce od tíhy kabiny

Reakce na levé straně

$$R_{PA} = \frac{P \times 463}{900} \times 10$$

$$R_{PA} = \frac{480 \times 463}{900} \times 10$$

$$R_{PA} = T_2 = 2469 \text{ N} \doteq 2500 \text{ N}$$
(3.11)

Reakce na pravé straně

$$R_{PB} = \frac{P \times 437}{900} \times 10$$

$$R_{PB} = \frac{480 \times 437}{900} \times 10$$

$$R_{PB} = 2330 \text{ N} \doteq 2300 \text{ N}$$
(3.12)

Spojitá tíha kabiny na straně A

Kvůli zjednodušení, které nemá na výsledek příliš velký vliv, je tíha kabiny na straně A rozdělena rovnoměrně po celé délce podlahy, což se velice blíží skutečnosti. Za hodnotu D_x je místo hodnoty 2 dosazováno 1,9 z důvodu chybějících 100mm za šikmou výztuhou kabiny, které nebylo možno kvůli kloubovému spoji v programu zahrnout.

$$T_{2q} = \frac{R_{PA}}{D_x}$$
(3.13)

$$T_{2q} = \frac{2500}{1.9}$$

$$T_{2q} = 1315 \text{ N} \cdot \text{m}^{-1}$$

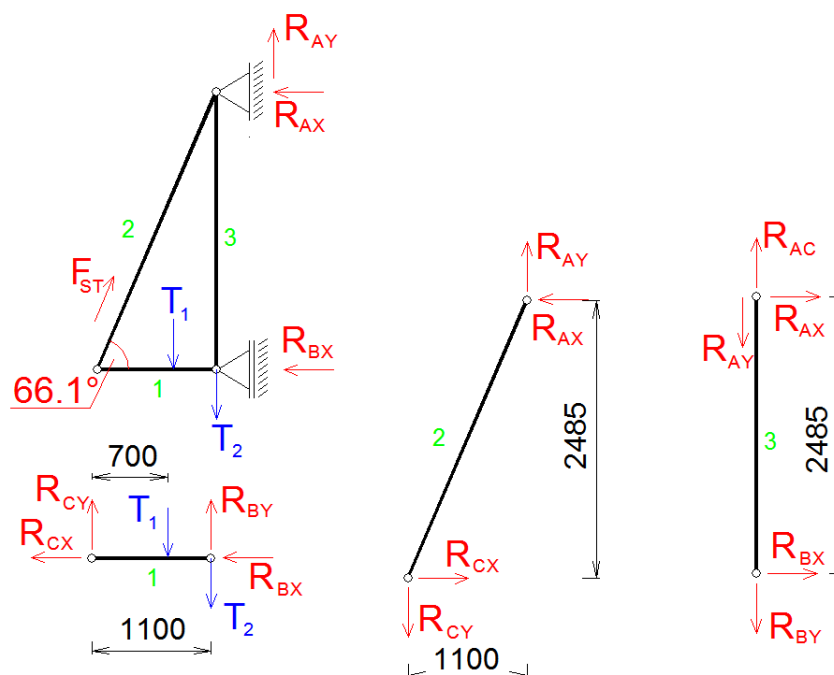
3.3 Posouzení použitelnosti programu RuckZuck k výpočtu sil v rámu

Zjednodušený staticky určitý rám

Jedná se o zjednodušení sloužící k zjištění spolehlivosti a případně dalšího použití výpočtů programu RuckZuck v němž je rám, na obr. 3.6, zakreslen mnohem komplexněji. Zjednodušení spočívá v redukci svislých tahů do jediného, který je staticky určitě uložený a má k sobě připojený šikmý tah a zadní část podlahy, viz obr. 3.3.

Síly: $T_1=3600\text{N}$

$T_2=2500\text{N}$



Obrázek 3.3 – Zjednodušený staticky určitý rám

1 – zadní část podlahy, 2 – šikmý tah, 3 – svislý tah rámu

1. člen:

$$\sum F_x = 0:$$

$$-R_{CX} - R_{BX} = 0$$

$$R_{BX} = -R_{CX}$$

$$R_{BX} = 579,4 \text{ N}$$
(3.14)

$$\sum F_Y = 0: \quad (3.15)$$

$$R_{BY} + R_{CY} - T_1 - T_2 = 0$$

$$R_{CY} = T_1 + T_2 - R_{BY}$$

$$R_{CY} = 3600 + 2500 - 4791$$

$$R_{CY} = 1309 \text{ N}$$

$$\sum M_C = 0:$$

$$R_{BY} \times 1100 - T_1 \times 700 - T_2 \times 1100 = 0$$

$$R_{BY} = \frac{T_1 \times 700 + T_2 \times 1100}{1100}$$

$$R_{BY} = \frac{3600 \times 700 + 2500 \times 1100}{1100}$$

$$R_{BY} = 4791 \text{ N}$$

2. člen:

$$\sum F_X = 0: \quad (3.17)$$

$$R_{CX} - R_{AX} = 0$$

$$R_{AX} = R_{CX}$$

$$R_{AX} = -579,4 \text{ N}$$

$$\sum F_Y = 0: \quad (3.18)$$

$$-R_{CY} + R_{AY} = 0$$

$$R_{AY} = R_{CY}$$

$$R_{AY} = 1309 \text{ N}$$

$$\sum M_A = 0: \quad (3.19)$$

$$R_{CY} \times 1100 + R_{CX} \times 2485 = 0$$

$$R_{CX} = \frac{-R_{CY} \times 1100}{2485}$$

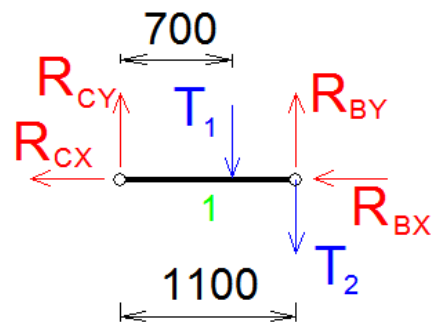
$$R_{CX} = \frac{-1309 \times 1100}{2485}$$

$$R_{CX} = -579,4 \text{ N}$$

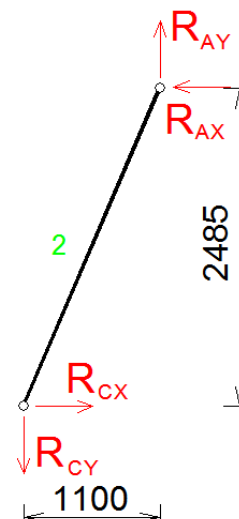
3. člen:

$$\sum F_Y = 0: \quad (3.20)$$

$$-R_{AY} - R_{BY} + R_{AC} = 0$$



(3.16) Obrázek 3.3A – Zadní část podlahy



Obrázek 3.3B – Šikmý tah

$$R_{AC} = R_{AY} + R_{BY}$$

$$R_{AC} = 1309 + 4791$$

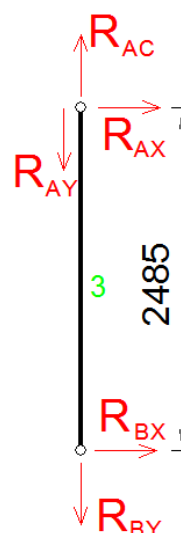
$$R_{AC} = 6100 \text{ N}$$

Síla v šikmém tahu

$$F_{ST} = \sqrt{R_{CY}^2 + R_{CX}^2} \quad (3.21)$$

$$F_{ST} = \sqrt{1309^2 + (-579,4)^2}$$

$$F_{ST} = 1431,5 \text{ N}$$

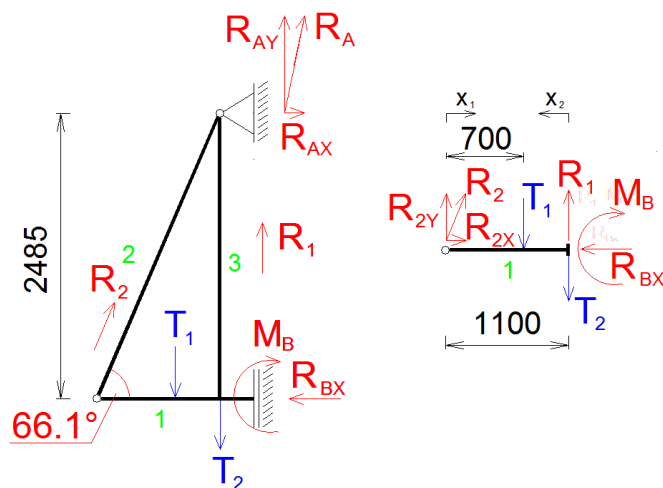


Obrázek 3.3C – Svislý tah rámu

Výsledné hodnoty výpočtu se příliš neshodují s hodnotami skutečného rámu obr. 4.6, zobrazenými v tabulce 4.1, proto je nutno zavést další reakci v podpoře, díky níž by se již výsledky mohli shodovat.

Zjednodušený jednou staticky neurčitý rám

Síly T_1 a T_2 jsou stejné jako v předchozím příkladě.



Obrázek 3.4 – Zjednodušený jednou staticky neurčitý rám

1 – zadní část podlahy , 2 – šikmý tah, 3 – svislý tah rámu

Výpočet reakcí v bodě B pomocí sil redukovaných do 1. členu na obr. 3.4:

$$\sum F_X = 0:$$

$$-R_{BX} + R_2 \times \cos \alpha = 0 \quad (3.22)$$

$$R_{BX} = R_2 \times \cos \alpha$$

$$R_{BX} = 679 \times \cos 66,1$$

$$R_{BX} = 275 \text{ N}$$

$$\sum F_Y = 0: \quad (3.23)$$

$$-T_1 - T_2 + R_1 + R_2 \times \sin \alpha = 0$$

$$R_1 = T_1 + T_2 - R_2 \times \sin \alpha$$

$$R_1 = 3600 + 2500 - 679 \times \sin 66,1$$

$$R_1 = 5479 \text{ N}$$

$$\sum M_A = 0: \quad (3.24)$$

$$-M_B + T_1 \times 400 - R_2 \times \sin \alpha \times 1100 = 0$$

$$M_B = T_1 \times 400 - R_2 \times \sin \alpha \times 1100$$

$$M_B = 3600 \times 400 - 679 \times \sin 66,1 \times 1100$$

$$M_B = 757143 \text{ Nmm}$$

Čtvrtá rovnice (φ_A) využívající nulové natočení v bodě A

$$M(x_1) = R_2 \times \sin \alpha \times x_1 \quad \frac{\delta M(x_1)}{\delta M_B} = -\frac{1}{\sin \alpha \times 1100} \times \sin \alpha \times x_1 = -\frac{x_1}{1100} \quad (3.25)$$

$$M(x_2) = R_1 \times x_2 - T_2 \times x_2 - M_A \quad \frac{\delta M(x_2)}{\delta M_B} = -1 \quad (3.26)$$

$$\varphi_A = 0 = \frac{\delta W_P}{\delta M_B} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{EJ} \left[\int_a^b M(x) \frac{\delta M(x)}{\delta M_B} dx \right] \quad (3.27)$$

$$0 = \frac{1}{EJ} \left[\int_0^{700} \frac{-M_B + T_1 \times 400}{\sin \alpha \times 1100} \times \sin \alpha \times x_1 \times \left(-\frac{x_1}{1100} \right) dx_1 + \int_0^{400} (-R_1 \times x_2 + T_2 \times x_2 + M_B) dx_2 \right]$$

$$0 = \int_0^{700} \frac{-M_B + 3600 \times 400}{1100} \times \left(-\frac{x_1^2}{1100} \right) dx_1 + \int_0^{400} (-R_1 \times x_2 + 2500 \times x_2 + M_B) dx_2$$

$$0 = \frac{179500}{363} \times M_B + \frac{7736 \times 10^6}{121} - 80000 \times R_1$$

$$0 = \frac{179500}{363} \times (T_1 \times 400 - R_2 \times \sin \alpha \times 1100) + \frac{7736 \times 10^6}{121} - 80000 \times (T_1 + T_2 - R_2 \times \sin \alpha)$$

Síla R_2 vyjádřena ze vzorce 3.27.

$$R_2 = \frac{-\frac{179500}{363} \times T_1 \times 400 - \frac{7736 \times 10^6}{121} + 80000 \times T_1 + 80000 \times T_2}{80000 \times \sin \alpha - \frac{179500}{363} \times \sin \alpha \times 1100} \quad (3.28)$$

$$R_2 = \frac{-\frac{179500}{363} \times 3600 \times 400 - \frac{7736 \times 10^6}{121} + 80000 \times 3600 + 80000 \times 2500}{80000 \times \sin(66,1) - \frac{179500}{363} \times \sin(66,1) \times 1100}$$

$$R_2 = 679 \text{ N}$$

Výpočet reakcí v bodě A zobrazeném na obr. 3.4

$$\sum F_x = 0: \quad (3.29)$$

$$R_{AX} - R_2 \times \cos \alpha = 0$$

$$R_{AX} = R_2 \times \cos \alpha$$

$$R_{AX} = 679 \times \cos 66,1$$

$$R_{AX} = 275 \text{ N}$$

$$\sum F_y = 0: \quad (3.30)$$

$$R_{AY} - R_2 \times \sin \alpha - R_1 = 0$$

$$R_{AY} = R_2 \times \sin \alpha + R_1$$

$$R_{AY} = 679 \times \sin 66,1 + 5479$$

$$R_{AY} = 6100 \text{ N}$$

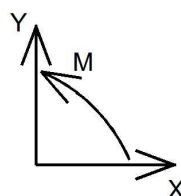
Při pohledu na porovnávací tabulku 3.1 je jasné, že hodnoty, které vyšli u staticky určitého zjednodušeného rámu jsou příliš rozdílné v porovnání s výsledky komplexněji zpracovaného rámu v programu RuckZuck a tím nepoužitelné. Naproti tomu výsledky reakcí zjednodušeného staticky neurčitého rámu se velice blíží hodnotám vycházejícím v programu. Malé rozdíly v reakcích jsou dány zjednodušením, kdy byl odebrán druhý svislý tah, který ve skutečnosti také přenáší určitou část sil. Program je tedy vhodný k výpočtu komplikovaných staticky neurčitých konstrukcí.

Tabulka 3.1 – Tabulka porovnávaných hodnot

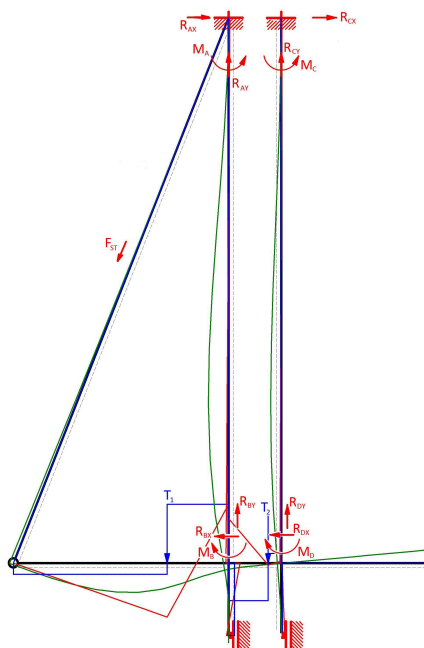
Místo působení síly	Typ síly	R_x [N]	R_y [N]	M [Nm]	F_{ST} [N]
A_R		240	5560	10	
B_R		-228	-4983	-441(*20)	
C_R		10	539	10	
D_R		-64	-539	-25	
F_{STR}					-622
A_{ZU}		579,4	6100		
B_{ZU}		-579,4	-4791		
F_{STU}					-1431,5
A_{ZN}		275	6100		
B_{ZN}		-275	-5479	-757	
R_{2N}					-679

A_R, B_R, C_R, D_R – reakce v zjišťovaných bodech komplexního rámu, A_{ZU}, B_{ZU} – reakce v podporách zjednodušeného staticky určitého rámu, A_{ZN}, B_{ZN} – reakce v podporách zjednodušeného staticky neurčitého rámu, F_{STR} – síla působící v šikmém tahu komplexního rámu, F_{STU} – síla působící v šikmém tahu zjednodušeného staticky určitého rámu, R_{2N} – síla působící v šikmém tahu zjednodušeného staticky neurčitého rámu, * - skutečný moment přenášený svislým zadním tahem (vzniklý součtem momentů na pravé a levé straně tahu)

(Působení sil je bráno podle znaménkové konvence zobrazené na obr. 3.5)



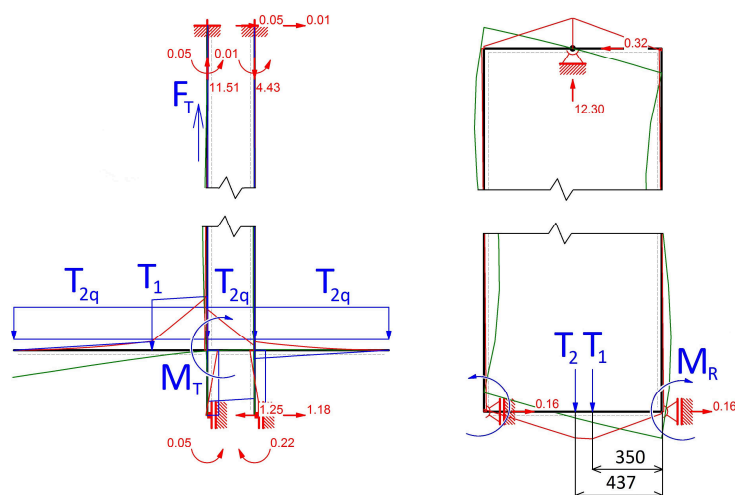
Obrázek 3.5 – Znaménková konvence



Obrázek 3.6 – Reálný rám vytvořený v programu RuckZuck

3.4 Napětí v nejvíce zatíženém svislém tahu bez použití šikmého tahu

Podlaha je rovnoměrně zatížena tíhou kabiny podle vzorce 3.13 a tíhou nosnosti zvětšené o 25% podle vzorce 3.9. Pozice nosnosti je dále určena pomocí vzorce číslo 3.3 převzatého z normy.



Obrázek 3.7 – Rám zatížený spojitou tíhou kabiny a bodovou tíhou nosnosti

V tabulce 3.2 jsou uvedeny hodnoty tahové síly a ohybového momentu zadního svislého tahu v němž vznikaly největší reakce.

Tabulka 3.2 – Reakce v rámu za běžného provozu

F_T	11511 N
M_T	452 Nm
M_R	194 Nm

Průřezový modul v ohybu

K určení průřezového modulu obrázku 3.8 je nutno nejdříve určit těžiště průřezu a z něj kvadratické momenty průřezu k osám y a z.

Těžiště průřezu svislého tahu

Osa z

$$z_T = \frac{\sum S_i \times z_i}{\sum S_i} \quad (3.31)$$

$$z_T = \frac{b \times a \times z_1 + c \times (e - a) \times z_3 + c \times (d - f - e) \times z_2}{b \times a + c \times (e - a) + c \times (d - f - e)}$$

$$z_T = \frac{40 \times 5 \times 37,5 + 5 \times (13,5 - 5) \times 30,75 + 5 \times (40 - 13 - 13,5) \times 6,75}{40 \times 5 + 5 \times (13,5 - 5) + 5 \times (40 - 13 - 13,5)}$$

$$z_T = 29,88 \text{ mm}$$

Osa y

$$y_T = \frac{\sum S_i \times y_i}{\sum S_i} \quad (3.32)$$

$$y_T = \frac{b \times a \times y_1 + c \times (e - a) \times y_2 + c \times (d - f - e) \times y_3}{b \times a + c \times (e - a) + c \times (d - f - e)}$$

$$y_T = \frac{40 \times 5 \times 20 + 5 \times (13,5 - 5) \times 2,5 + 5 \times (40 - 13 - 13,5) \times 2,5}{40 \times 5 + 5 \times (13,5 - 5) + 5 \times (40 - 13 - 13,5)}$$

$$y_T = 13,79 \text{ mm}$$

Kvadratický moment průřezu k ose ohybu z

$$J_{zT} = \frac{a \times b^3}{12} + (y_1 - y_T)^2 \times b \times a + \frac{(d - f - e) \times c^3}{12} + (y_T - y_2)^2 \times (d - f - e) \times c +$$

$$+ \frac{(e - a) \times c^3}{12} + (y_T - y_3)^2 \times (e - a) \times c \quad (3.33)$$

$$J_{zT} = \frac{5 \times 40^3}{12} + (20 - 13,79)^2 \times 40 \times 5 + \frac{(40 - 13 - 13,5) \times 5^3}{12} + (13,79 - 2,5)^2 \times (40 - 13 - 13,5) \times 5 +$$

$$+ \frac{(13,5 - 5) \times 5^3}{12} + (13,79 - 2,5)^2 \times (13,5 - 5) \times 5$$

$$J_{zT} = 48629,7 \text{ mm}^4$$

Kvadratický moment průřezu k ose ohybu y

$$J_{yT} = \frac{b \times a^3}{12} + (z_1 - z_T)^2 \times b \times a + \frac{c \times (d - f - e)^3}{12} + (z_T - z_2)^2 \times (d - f - e) \times c +$$

$$+ \frac{c \times (e - a)^3}{12} + (z_3 - z_T)^2 \times (e - a) \times c \quad (3.34)$$

$$J_{yT} = \frac{40 \times 5^3}{12} + (37,5 - 29,88)^2 \times 40 \times 5 + \frac{5 \times (40 - 13 - 13,5)^3}{12} +$$

$$+ (29,88 - 6,75)^2 \times (40 - 13 - 13,5) \times 5 + \frac{5 \times (13,5 - 5)^3}{12} + (30,75 - 29,88)^2 \times (13,5 - 5) \times 5$$

$$J_{yT} = 49455 \text{ mm}^4$$

Průřezový modul k ose ohybu z

$$W_{oz} = \frac{J_{zT}}{b - y_T} \quad (3.35)$$

$$W_{oz} = \frac{48629,7}{40 - 13,79}$$

$$W_{oz} = 1855 \text{ mm}^3$$

Průřezový modul k ose ohybu y

$$W_{oy} = \frac{J_{yT}}{z_T} \quad (3.36)$$

$$W_{oy} = \frac{49455}{29,88}$$

$$W_{oy} = 1655 \text{ mm}^3$$

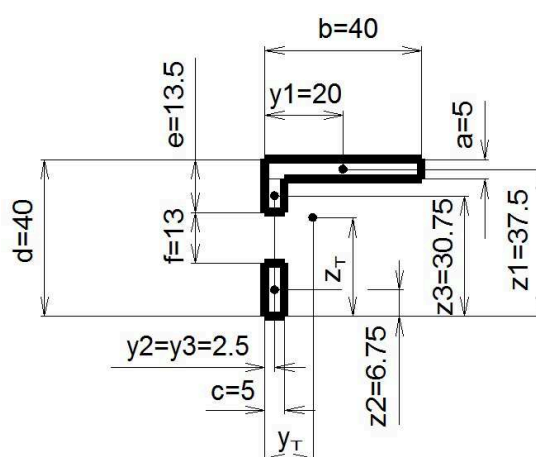
Plocha průřezu tahu zobrazeného na obr. 3.8

$$S = S_1 - S_2 - S_3 \quad (3.37)$$

$$S = b \times d - (b - c) \times (d - a) - f \times c$$

$$S = 40 \times 40 - (40 - 5) \times (40 - 5) - 13 \times 5$$

$$S = 310 \text{ mm}^2$$



Obrázek 3.8 – Průřez svislého tahu

Napětí ve svislém tahu

Tahové napětí

$$\begin{aligned}\sigma_t &= \frac{F_T}{S} \\ \sigma_t &= \frac{11511}{310} \\ \sigma_t &= 37,1 \text{ MPa}\end{aligned}\tag{3.38}$$

Napětí v ohybu k ose y

$$\begin{aligned}\sigma_{oy} &= \frac{M_T}{W_{oy}} \\ \sigma_{oy} &= \frac{452000}{1655} \\ \sigma_{oy} &= 273,1 \text{ MPa}\end{aligned}\tag{3.39}$$

Napětí v ohybu k ose z

$$\begin{aligned}\sigma_{oz} &= \frac{M_R}{2W_{oz}} \\ \sigma_{oz} &= \frac{194000}{2 \times 1855} \\ \sigma_{oz} &= 52,3 \text{ MPa}\end{aligned}\tag{3.40}$$

Celkové napětí v ohybu

$$\begin{aligned}\sigma_o &= \sqrt{\sigma_{oy}^2 + \sigma_{oz}^2} \\ \sigma_o &= \sqrt{273,1^2 + 52,3^2} \\ \sigma_o &= 278 \text{ MPa}\end{aligned}\tag{3.41}$$

Celkové napětí ve svislém tahu

$$\begin{aligned}\sigma_c &= \sigma_t + \sigma_o \\ \sigma_c &= 37,1 + 278 \\ \sigma_c &= 315,1 \text{ MPa}\end{aligned}\tag{3.42}$$

Koeficient bezpečnosti

$$k_s = \frac{R_e}{\sigma_c} \quad (3.43)$$

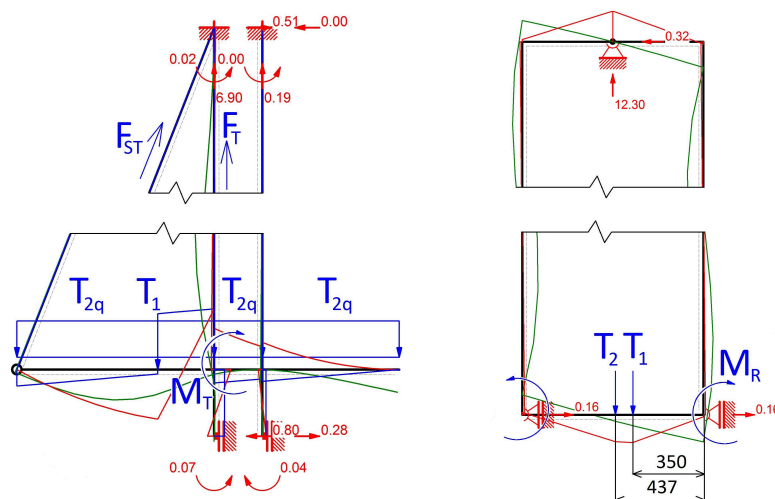
$$k_s = \frac{320}{315,1}$$

$$k_s = 1,01$$

Statická bezpečnost vychází při běžném provozu příliš nízká, minimální potřebná hodnota je **1,3**, proto rám ve stávající podobě není vhodný pro provoz a musí se zavést šikmý tah spojující zadní část podlahy s vrchní částí svislého tahu a snižující tak jeho namáhání ve spodní části.

3.5 Napětí v šikmém a svislém tahu pro spojitě zatížení kabiny a nosnost dle výpočtu

Zatížení podlahy je stejné jako v případě 3.4 zatížení bez šikmého tahu. Jediný rozdíl je, že byl přidán šikmý tah a jsou vyšetřovány hodnoty reakcí v požadovaných místech při zachycení klece.

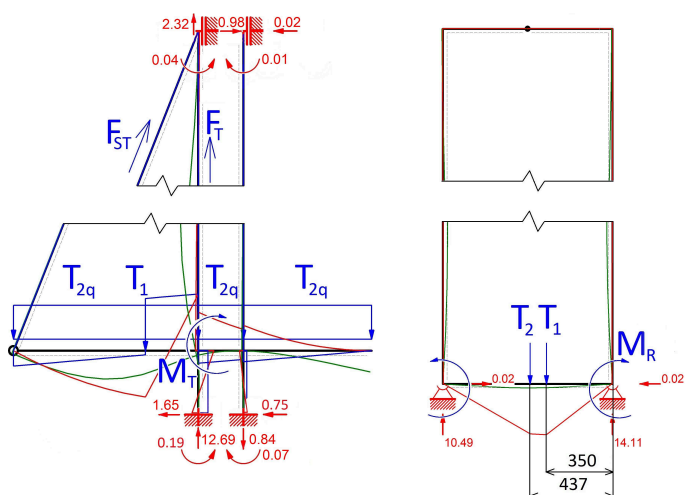


Obrázek 3.9 – Rám zatížený spojitou tíhou kabiny a bodovou tíhou nosnosti

Tabulka 3.3 – Reakce v rámu za běžného provozu

F_{ST}	1352 N
F_T	5641 N
M_T	220 Nm
M_R	194Nm

Působení zachycovačů



Obrázek 3.10 – Rám při působení zachycovačů

Tabulka 3.4 – Reakce v rámu za působení zachycovačů

F_{ST}	2509 N
F_T	12919 N
M_T	359 Nm
M_R	39 Nm

Napětí ve svislém tahu

Hodnoty pro výpočty jsou brány z tabulek 3.3 a 3.4. Hodnoty na levé straně jsou za běžného provozu a hodnoty na pravé straně jsou za působení zachycovačů. Hodnoty uprostřed jsou společné pro oba stavy zatížení.

Tahové napětí

Plocha průřezu je brána ze vzorce 3.37.

$$\sigma_t = \frac{F_T}{S}$$

$$\sigma_t = \frac{5641}{310}$$

$$\sigma_t = 18,2 \text{ MPa}$$

$$\sigma_t = \frac{F_T}{S} \quad (3.44)$$

$$\sigma_t = \frac{11282}{310}$$

$$\sigma_t = 36,4 \text{ MPa}$$

Napětí v ohybu na ose y

Ve výpočtu brána hodnota průřezového modulu k ose ohybu y ze vzorce 3.36.

$$\begin{aligned}\sigma_{oy} &= \frac{M_T}{W_{oy}} & \sigma_{oy} &= \frac{M_T}{W_{oy}} \quad (3.45) \\ \sigma_{oy} &= \frac{220000}{1655} & \sigma_{oy} &= \frac{359000}{1655} \\ \sigma_{oy} &= 132,9 \text{ MPa} & \sigma_{oy} &= 216,9 \text{ MPa}\end{aligned}$$

Napětí v ohybu na ose z

Ve výpočtu brána hodnota průřezového modulu k ose ohybu z ze vzorce 3.35.

$$\begin{aligned}\sigma_{oz} &= \frac{M_R}{2W_{oz}} & \sigma_{oz} &= \frac{M_R}{2W_{oz}} \quad (3.46) \\ \sigma_{oz} &= \frac{194000}{2 \times 1855} & \sigma_{oz} &= \frac{39000}{2 \times 1855} \\ \sigma_{oz} &= 52,3 \text{ MPa} & \sigma_{oz} &= 10,5 \text{ MPa}\end{aligned}$$

Celkové napětí v ohybu

$$\begin{aligned}\sigma_o &= \sqrt{\sigma_{oy}^2 + \sigma_{oz}^2} & \sigma_o &= \sqrt{\sigma_{oy}^2 + \sigma_{oz}^2} \quad (3.47) \\ \sigma_o &= \sqrt{132,9^2 + 52,3^2} & \sigma_o &= \sqrt{216,9^2 + 10,5^2} \\ \sigma_o &= 142,8 \text{ MPa} & \sigma_o &= 217,2 \text{ MPa}\end{aligned}$$

Celkové napětí ve svislém tahu

$$\begin{aligned}\sigma_c &= \sigma_t + \sigma_o & \sigma_c &= \sigma_t + \sigma_o \quad (3.48) \\ \sigma_c &= 18,2 + 142,8 & \sigma_c &= 36,4 + 217,2 \\ \sigma_c &= 161 \text{ MPa} & \sigma_c &= 253,6 \text{ MPa}\end{aligned}$$

Koeficient bezpečnosti

$$k_s = \frac{R_e}{\sigma_c} \quad (3.49)$$

$$k_s = \frac{320}{161}$$

$$k_s = 1,99$$

$$k_s = \frac{320}{253,6}$$

$$k_s = 1,26$$

Napětí v šikmém tahu

Plocha průřezu šikmého tahu

$$S_1 = a \times b \quad (3.50)$$

$$S_1 = 30 \times 5$$

$$S_1 = 150 \text{ mm}^2$$

Průřez oslabený otvorem

Průměr otvoru je 15mm.

$$S_o = S_1 - S_2 \quad (3.51)$$

$$S_o = 150 - 15 \times 5$$

$$S_o = 75 \text{ mm}^2$$

Tahové napětí

$$\sigma_{ST} = \frac{F_{ST}}{S}$$

$$\sigma_{ST} = \frac{1352}{75}$$

$$\sigma_{ST} = 18 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{ST} = \frac{F_{ST}}{S} \quad (3.52)$$

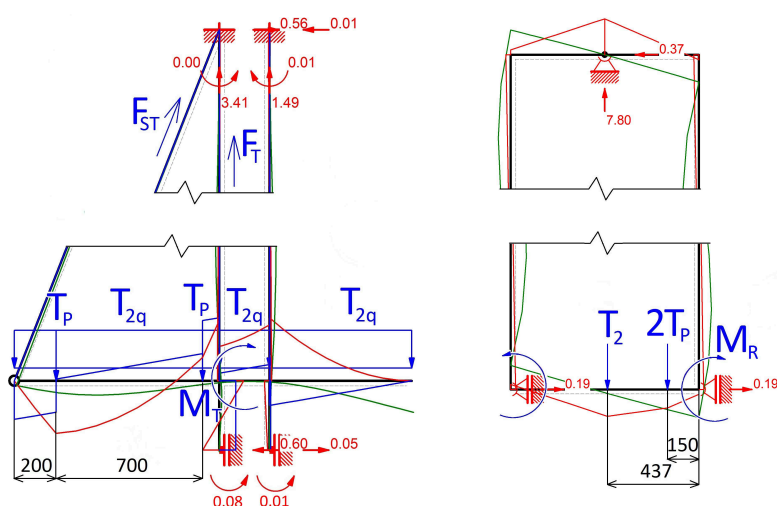
$$\sigma_{ST} = \frac{2509}{75}$$

$$\sigma_{ST} = 33,5 \text{ MPa}$$

Hodnoty vycházejí velice nízké, proto není třeba počítat koeficient bezpečnosti.

3.6 Napětí v šikmém a svislém tahu pro spojitě zatížení kabiny a nosnost tvořenou dvěma osobami

V tomto případě jsou místo vypočtené nosnosti umístěny do kabiny dvě osoby o váze po 150 kg. Každá z postav zabírá prostor (300 x 600) mm. Působí síla tíhy každé z nich je umístěné do těžiště plochy kterou zabírají. Obě postavy stojí v levé zadní části, při pohledu od vstupu, s rozstupem mezi sebou 100 mm. Jejich hmotnost se na strany roznáší v poměru 4/1, což je 120 kg na počítanou stranu od jedné osoby.

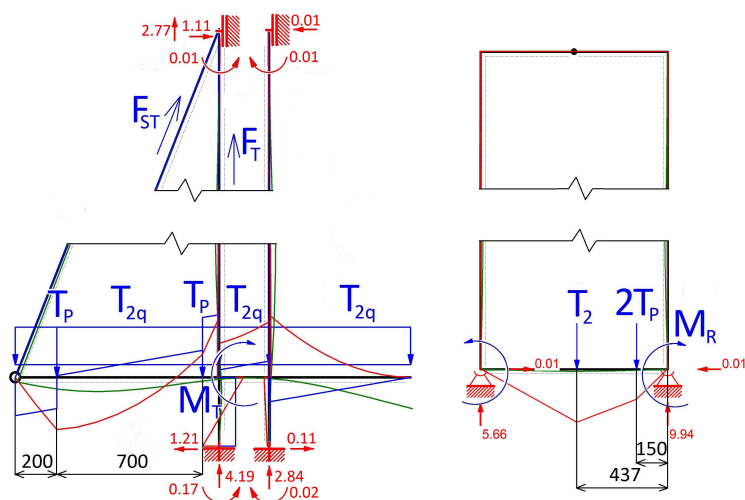


Obrázek 3.11 – Rám zatížený spojitou tíhou kabiny a dvěma osobami

Tabulka 4.5 – Reakce v rámu za běžného provozu

F_{ST}	1505 N
F_T	2012 N
M_T	127 Nm
M_R	236 Nm

Působení zachycovačů



Obrázek 3.12 – Rám při působení zachycovačů

Tabulka 3.6 – Reakce v rámu za působení zachycovačů

F_{ST}	2979 N
F_T	4180 N
M_T	256 Nm
M_R	21 Nm

Napětí ve svislém tahu

Hodnoty pro výpočet jsou brány z tabulky 3.5 a 3.6. Hodnoty stejně jako u předchozího příkladu jsou na levé straně za běžného provozu a na pravé straně za působení zachycovačů. Hodnoty uprostřed jsou společné pro oba stavy zatížení.

Tahové napětí

Plocha průřezu je brána ze vzorce 3.37.

$$\sigma_t = \frac{F_T}{S}$$

$$\sigma_t = \frac{2012}{310}$$

$$\sigma_t = 6,5 \text{ MPa}$$

$$\sigma_t = \frac{F_T}{S} \quad (3.53)$$

$$\sigma_t = \frac{4180}{310}$$

$$\sigma_t = 13,5 \text{ MPa}$$

Napětí v ohybu na ose y

Ve výpočtu brána hodnota průřezového modulu k ose ohybu y ze vzorce 3.36.

$$\sigma_{oy} = \frac{M_T}{W_{oy}}$$

$$\sigma_{oy} = \frac{127000}{1655}$$

$$\sigma_{oy} = 76,7 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{oy} = \frac{M_T}{W_{oy}} \quad (3.54)$$

$$\sigma_{oy} = \frac{256000}{1655}$$

$$\sigma_{oy} = 154,7 \text{ MPa}$$

Napětí v ohybu na ose z

Ve výpočtu brána hodnota průřezového modulu k ose ohybu z ze vzorce 3.35.

$$\sigma_{oz} = \frac{M_R}{2W_{oz}}$$

$$\sigma_{oz} = \frac{236000}{2 \times 1855}$$

$$\sigma_{oz} = 63,6 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{oz} = \frac{M_R}{2W_{oy}} \quad (3.55)$$

$$\sigma_{oz} = \frac{21000}{2 \times 1855}$$

$$\sigma_{oz} = 5,7 \text{ MPa}$$

Celkové napětí v ohybu

$$\sigma_o = \sqrt{\sigma_{oy}^2 + \sigma_{oz}^2}$$

$$\sigma_o = \sqrt{76,7^2 + 63,6^2}$$

$$\sigma_o = 99,6 \text{ MPa}$$

$$\sigma_o = \sqrt{\sigma_{oy}^2 + \sigma_{oz}^2} \quad (3.56)$$

$$\sigma_o = \sqrt{154,7^2 + 5,7^2}$$

$$\sigma_o = 154,8 \text{ MPa}$$

Celkové napětí ve svislém tahu

$$\sigma_c = \sigma_t + \sigma_o$$

$$\sigma_c = 6,5 + 99,6$$

$$\sigma_c = 106,1 \text{ MPa}$$

$$\sigma_c = \sigma_t + \sigma_o \quad (3.57)$$

$$\sigma_c = 13,5 + 154,8$$

$$\sigma_c = 168,3 \text{ MPa}$$

Koeficient bezpečnosti

$$k_s = \frac{R_e}{\sigma_c}$$

$$k_s = \frac{320}{106,1}$$

$$k_s = 3,01$$

$$k_s = \frac{R_e}{\sigma_c} \quad (3.58)$$

$$k_s = \frac{320}{168,3}$$

$$k_s = 1,9$$

Napětí v šikmém tahu

$$\sigma_{ST} = \frac{F_{ST}}{S}$$

$$\sigma_{ST} = \frac{1505}{75}$$

$$\sigma_{ST} = 20 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{ST} = \frac{F_{ST}}{S} \quad (3.59)$$

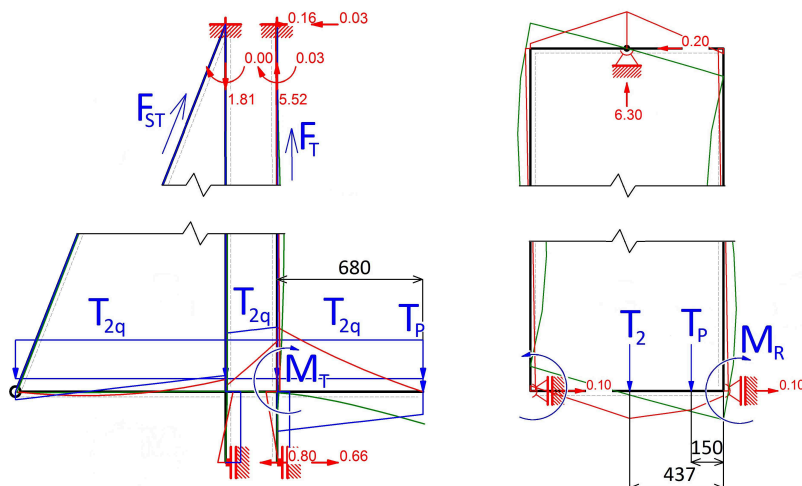
$$\sigma_{ST} = \frac{2979}{75}$$

$$\sigma_{ST} = 39,7 \text{ MPa}$$

Hodnoty vycházejí velice nízké, proto není třeba počítat koeficient bezpečnosti.

3.7 Napětí v šikmém a svislém tahu pro spojitě zatížení kabiny a nosnost tvořenou jednou osobou

Postava je umístěna do prostoru vstupu do kabiny. Jedná se však o případ, který je při jízdě klece nereálný, postava ve skutečnosti bude stát minimálně o 150 mm dál od kraje kabiny. Přesto je tato situace vhodná k posouzení z důvodu zjištění napětí v tazích při nástupu osob do kabiny odpovídající vzorci zatížení 3.61.

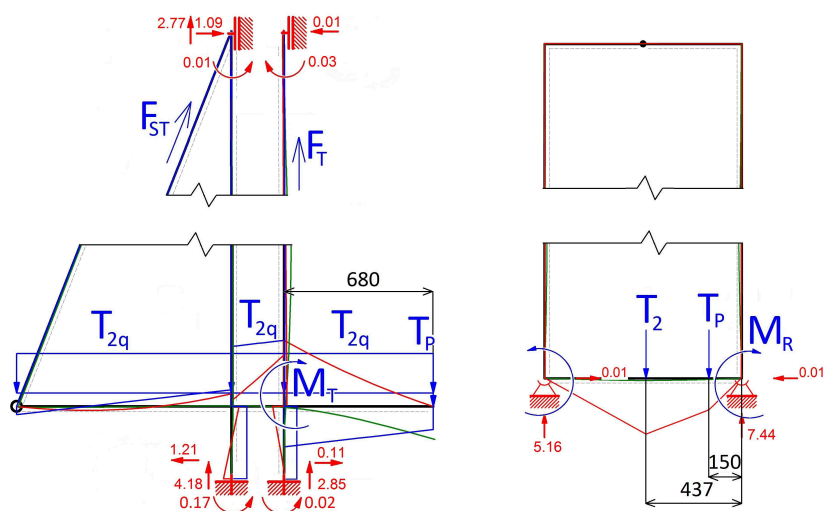


Obrázek 3.13 – Rám zatížený spojitou tíhou kabiny a jednou osobou u vstupu

Tabulka 3.7 – Reakce v rámu za běžného provozu

F_{ST}	459 N
F_T	5515 N
M_T	243 Nm
M_R	124 Nm

Působení zachycovačů



Obrázek 3.14 – Rám při působení zachycovačů

Hodnoty ve skutečnosti vycházejí menší z důvodu nereálnosti stání osoby na kraji kabiny, zmíněno výše.

Tabulka 3.8 – Reakce v rámu při působení zachycovačů

F_{ST}	1164 N
F_T	12785 N
M_T	362 Nm
M_R	18 Nm

Hodnoty vycházející při posunutí postavy o 150 mm dál od kraje kabiny.

Tabulka 3.9 – Reakce v rámu při působení zachycovačů

F_{ST}	1149 N
F_T	11313 N
M_T	303 Nm
M_R	18 Nm

Zatížení prahu během nástupu a výstupu

$$F_s = c \times g \times Q \quad (3.60)$$

$$F_s = 0,4 \times 9,81 \times 600$$

$$F_s = 2355 \text{ N}$$

Hodnota zatížení prahu se rozkládá na strany v poměru 1/2, který zároveň odpovídá osobě stojící 150 mm od boku kabiny a vážící 150 kg.

$$T_p = \frac{F_s}{2} \quad (3.61)$$

$$T_p = \frac{2355}{2}$$

$$T_p = 1177,5 \text{ N} \doteq 1200 \text{ N}$$

Napětí ve svislém tahu

Hodnoty pro výpočet jsou brány z tabulky 3.8 a 3.9. Hodnoty stejně jako u předchozích dvou příkladů jsou na levé straně za běžného provozu a na pravé straně za působení zachycovačů. Hodnoty uprostřed jsou společné pro oba stavy zatížení.

Tahové napětí

Plocha průřezu je brána ze vzorce 3.37.

$$\sigma_t = \frac{F_T}{S}$$

$$\sigma_t = \frac{5515}{310}$$

$$\sigma_t = 17,8 \text{ MPa}$$

$$\sigma_t = \frac{F_T}{S} \quad (3.62)$$

$$\sigma_t = \frac{11313}{310}$$

$$\sigma_t = 36,5 \text{ MPa}$$

Napětí v ohybu na ose y

Ve výpočtu brána hodnota průřezového modulu k ose ohybu y ze vzorce 3.36.

$$\sigma_{oy} = \frac{M_T}{W_{oy}}$$

$$\sigma_{oy} = \frac{243000}{1655}$$

$$\sigma_{oy} = 146,8 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{oy} = \frac{M_T}{W_{oy}} \quad (3.63)$$

$$\sigma_{oy} = \frac{303000}{1655}$$

$$\sigma_{oy} = 183 \text{ MPa}$$

Napětí v ohybu na ose z

Ve výpočtu brána hodnota průřezového modulu k ose ohybu z ze vzorce 3.35. Hodnota M_R je dělena dvěma kvůli rozdělení momentu do dvou svislých tahů.

$$\sigma_{oz} = \frac{M_R}{2W_{oz}}$$

$$\sigma_{oz} = \frac{124000}{2 \times 1855}$$

$$\sigma_{oz} = 33,4 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{oz} = \frac{M_R}{2W_{oz}} \quad (3.64)$$

$$\sigma_{oz} = \frac{18000}{2 \times 1855}$$

$$\sigma_{oz} = 4,9 \text{ MPa}$$

Celkové napětí v ohybu

$$\sigma_o = \sqrt{\sigma_{oy}^2 + \sigma_{oz}^2}$$

$$\sigma_o = \sqrt{146,8^2 + 33,4^2}$$

$$\sigma_o = 150,6 \text{ MPa}$$

$$\sigma_o = \sqrt{\sigma_{oy}^2 + \sigma_{oz}^2} \quad (3.65)$$

$$\sigma_o = \sqrt{183^2 + 4,9^2}$$

$$\sigma_o = 183 \text{ MPa}$$

Celkové napětí ve svislém tahu

$$\sigma_c = \sigma_t + \sigma_o$$

$$\sigma_c = 17,8 + 150,6$$

$$\sigma_c = 168,4 \text{ MPa}$$

$$\sigma_c = \sigma_t + \sigma_o \quad (3.66)$$

$$\sigma_c = 36,5 + 183$$

$$\sigma_c = 219,5 \text{ MPa}$$

Koeficient bezpečnosti

$$k_s = \frac{R_e}{\sigma_c}$$

$$k_s = \frac{320}{168,4}$$

$$k_s = 1,9$$

$$k_s = \frac{R_e}{\sigma_c} \quad (3.67)$$

$$k_s = \frac{320}{219,5}$$

$$k_s = 1,45$$

Napětí v šikmém tahu

$$\sigma_{ST} = \frac{F_{ST}}{S}$$

$$\sigma_{ST} = \frac{459}{75}$$

$$\sigma_{ST} = 6,12 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{ST} = \frac{F_{ST}}{S} \quad (3.68)$$

$$\sigma_{ST} = \frac{1149}{75}$$

$$\sigma_{ST} = 15,3 \text{ MPa}$$

Hodnoty vycházejí velice nízké, proto není třeba počítat koeficient bezpečnosti.

Vzhledem k vycházejícím hodnotám koeficientů bezpečnosti ve způsobech zatížení 3.5, 3.6 a 3.7 blížícím se v některých případech při působení zachycovačů hodnotě 1,2 není možné navrhnout svislý tah menších rozměrů jak současných L40.

3.8 Napětí v univerzálním nosníku

Jedná se o prvek použitý v horní i dolní části rámu ve dvojici. V horní části přenáší váhu celého výtahu do nosných lan. V dolní části nesou kabinu a přenáší v případě nárazu celou váhu výtahu do nárazníku. Jelikož se jedná o značné síly, které při nárazu vznikají, je napětí v nosníku počítáno pro tuto situaci. Pro užití jako horní nosník již není prováděn výpočet, ale kontrola pomocí programu Inventor na koncentraci napětí v otvorech závěsu. Výpočet a kontrola jsou prováděny pro 125% nosnosti umístěné podle výpočtů 3.3 a 3.4.

Výpočet napětí v dolním nosníku

Výpočet těžiště na ose z

Výpočet se vztahuje k obrázku 3.15.

$$z_T = \frac{a \times c \times z_1 + d \times b \times z_2 + e \times b \times z_3 + f \times b \times z_4 + g \times b \times z_5 + a \times c \times z_6}{a \times c + d \times b + e \times b + f \times b + g \times b + a \times c} \quad (3.69)$$
$$z_T = \frac{50 \times 4 \times 138 + 39,75 \times 4 \times 116,125 + 3,5 \times 4 \times 82 + 14,5 \times 4 \times 52,5 + 10,75 \times 4 \times 9,375 + 50 \times 4 \times 2}{50 \times 4 + 39,75 \times 4 + 3,5 \times 4 + 14,5 \times 4 + 10,75 \times 4 + 50 \times 4}$$
$$z_T = 75,76 \text{ mm}$$

Pozice těžiště na ose y není počítána, protože není pro následující výpočty potřebná.

Kvadratický moment průřezu k ose y

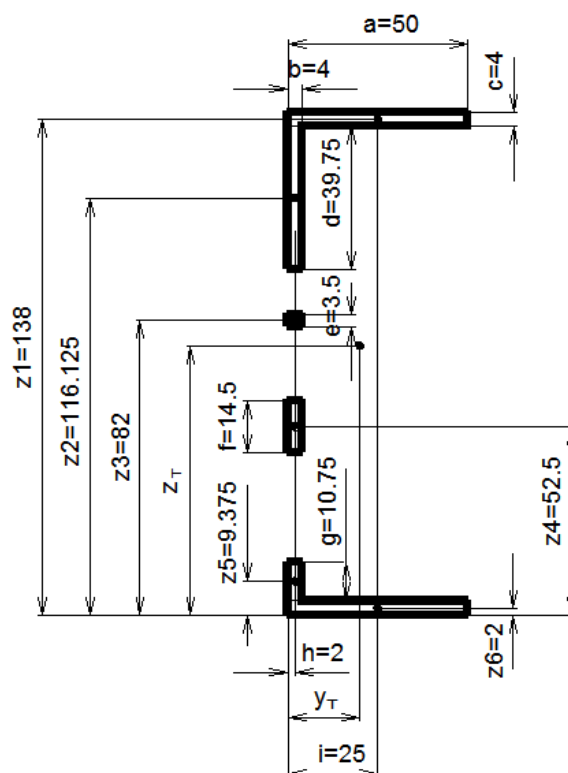
Ve výpočtu je bráno v potaz zeslabení otvory v nosníku. Tři otvory různě rozmístěné po nosníku jsou umístěné do společného průřezu, znázorněno na obrázku 3.15.

$$J_{yT} = \frac{a \times c^3}{12} + (z_1 - z_T)^2 \times a \times c + \frac{b \times d^3}{12} + (z_2 - z_T)^2 \times d \times b + \frac{b \times e^3}{12} + (z_3 - z_T)^2 \times e \times b + \frac{e \times f^3}{12} + (z_T - z_4)^2 \times f \times e + \frac{e \times b^3}{12} + (z_T - z_5)^2 \times b \times e + \frac{a \times c^3}{12} + (z_T - z_6)^2 \times a \times c \quad (3.70)$$

$$\begin{aligned}
J_{yT} = & \frac{50 \times 4^3}{12} + (138 - 75,76)^2 \times 50 \times 4 + \frac{4 \times 39,75^3}{12} + (116,125 - 75,76)^2 \times 39,75 \times 4 + \\
& + \frac{4 \times 3,5^3}{12} + (82 - 75,76)^2 \times 3,5 \times 4 + \frac{4 \times 14,5^3}{12} + (75,76 - 52,5)^2 \times 14,5 \times 4 + \\
& + \frac{4 \times 10,75^3}{12} + (75,76 - 9,375)^2 \times 10,75 \times 4 + \frac{50 \times 4^3}{12} + (75,76 - 2)^2 \times 50 \times 4 \\
J_{yT} = & 2366273 \text{ mm}^4
\end{aligned}$$

Průřezový modul k ose y

$$\begin{aligned}
W_y &= \frac{J_{yT}}{z_T} \\
W_y &= \frac{2366273}{75,76} \\
W_y &= 31233,8 \text{ mm}^3
\end{aligned} \tag{3.71}$$



Obrázek 3.15 – Upravený průřez univerzálního nosníku

Reakce v podporách nosníku

Hodnota T odpovídá reakcím vznikajícím při působení zachycovačů na obou stranách rámu a přenášejících se na zadní dolní univerzální nosník. Hodnoty vznikající při působení

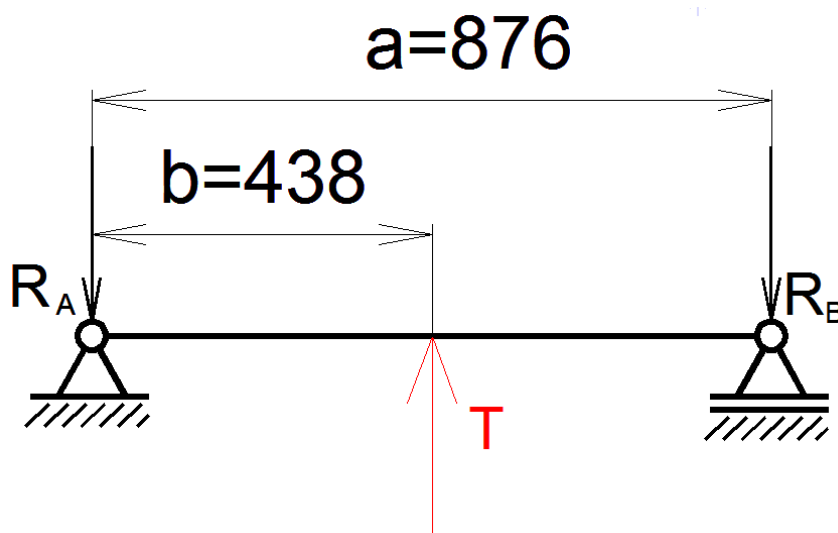
zachycovačů jsou brány z důvodu stejných velikostí jak při nárazu na nárazník s tím že je jiné pouze působíště sil.

$$\begin{aligned}\sum F_y &= 0 \\ -R_A - R_B + T &= 0 \\ R_A &= T - R_B \\ R_A &= 24250 - 12125 \\ R_A &= 12125 \text{ N}\end{aligned}\tag{3.72}$$

$$\begin{aligned}\sum M_A &= 0 \\ T \times b - R_B \times a &= 0 \\ R_B &= \frac{T \times b}{a} \\ R_B &= \frac{24250 \times 438}{876} \\ R_B &= 12125 \text{ N}\end{aligned}\tag{3.73}$$

Ohybový moment

$$\begin{aligned}M_o &= R_A \times b \\ M_o &= 12125 \times 438 \\ M_o &= 5310750 \text{ Nmm}\end{aligned}\tag{3.74}$$



Obrázek 3.16 – Schéma zatížení univerzálního nosníku

Napětí v univerzálním nosníku

$$\sigma_o = \frac{M_o}{W_y} \quad (3.75)$$

$$\sigma_o = \frac{5310750}{31233,8}$$

$$\sigma_o = 170 \text{ MPa}$$

Koeficient bezpečnosti pro materiál 11 373

$$k_s = \frac{R_e}{\sigma_c} \quad (3.76)$$

$$k_s = \frac{200}{170}$$

$$k_s = 1,18$$

Koeficient bezpečnosti pro materiál 11 523

$$k_s = \frac{R_e}{\sigma_c} \quad (3.77)$$

$$k_s = \frac{320}{170}$$

$$k_s = 1,88$$

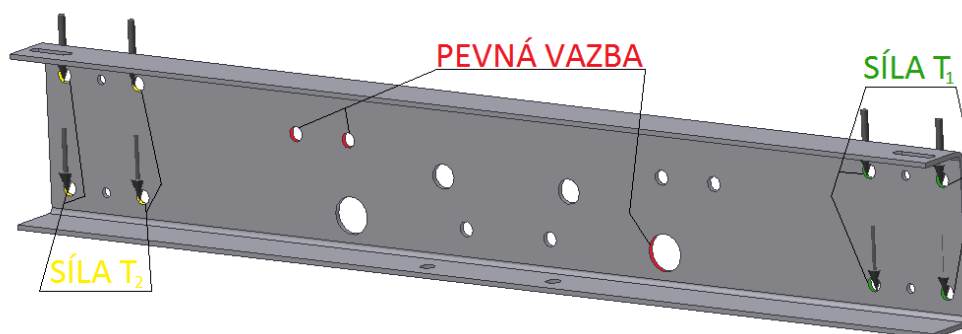
Nosník ve stávající podobě je schopný unést váhu kabiny při dosednutí na nárazník i za použití materiálu 11 373. Bezpečnost však již není příliš vysoká, proto je lepší použít pevnější materiál 11 523 u nějž bezpečnost vychází mnohem lépe a navíc umožňuje návrh menšího nosníku, viz kapitola Napětí ve zmenšeném univerzálním nosníku.

Kontrola napětí v horním nosníku

Kontrola se provádí za pomoci programu Inventor s aplikací Pevnostní analýza.

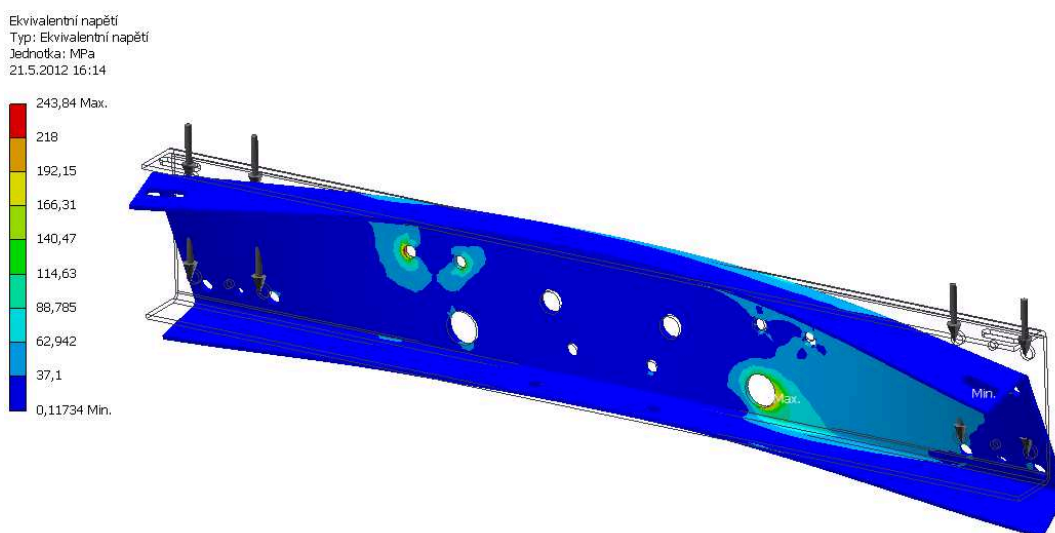
Na nosníku síly T_1 a T_2 působí v otvorech pro šrouby uchycení ke svislým tahům. Pevná vazba odpovídá místům uchycení závěsu lan. Síly T_1 a T_2 jsou síly vznikající tíhou kabiny, rámu a nosnosti. Při jejich výpočtu je tíha rámu rovnoměrně rozdělena na obě

strany, rozdělení tíhy kabiny a nosnosti bráno z programu RuckZuck pro spojitě zatížení podlahy od tíhy kabiny a nosnosti umístěné dle výpočtu.



Obrázek 3.17 – Upravený průřez univerzálního nosníku

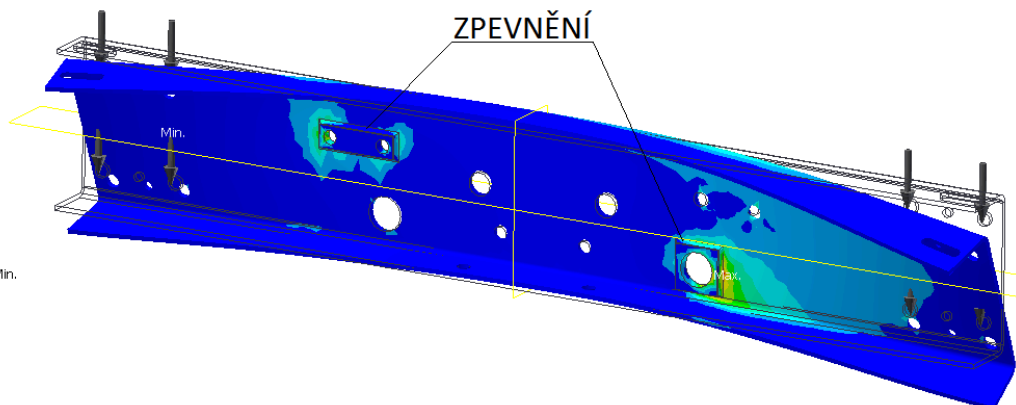
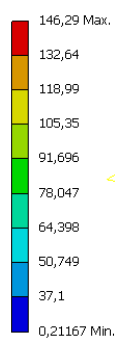
Po dokončení pevnostní analýzy je vidět vznik příliš velkých koncentrací napětí v místech uchycení závěsu snižujících bezpečnost. Proto musí být v těchto místech nosník zpevněn.



Obrázek 3.18 – Ekvivalentní napětí bez úprav

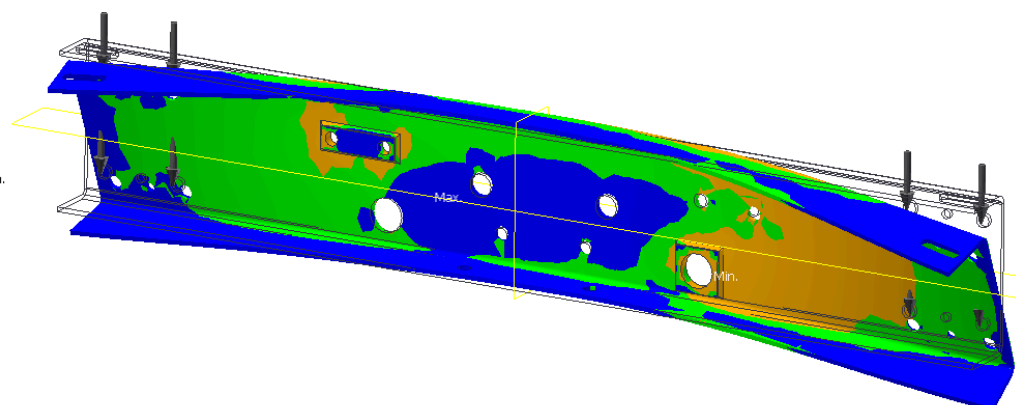
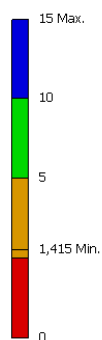
Nosník byl zpevněn pomocí dvou kousků plechu přivařených v místech uchycení závěsu. Tímto došlo ke snížení napětí skoro až o 100MPa a zvýšení bezpečnosti.

Ekvivalentní napětí
 Typ: Ekvivalentní napětí
 Jednotka: MPa
 21.5.2012 16:06



Obrázek 3.19 – Ekvivalentní napětí s úpravami

Koeficient bezpečnosti
 Typ: Součinitel bezpečnosti
 21.5.2012 16:31



Obrázek 3.20 – Koeficient bezpečnosti po úpravě

3.9 Napětí ve zmenšeném univerzálním nosníku

Zmenšení nosníku spočívá ve snížení jeho výšky 140mm na 120mm. Místo a velikost zatížení zůstává stejné.

Výpočet napětí v dolním nosníku

Výpočet těžiště na ose z

Výpočet se vztahuje k obrázku 3.21.

$$z_T = \frac{a \times c \times z_1 + d \times b \times z_2 + e \times b \times z_3 + f \times b \times z_4 + g \times b \times z_5 + a \times c \times z_6}{a \times c + d \times b + e \times b + f \times b + g \times b + a \times c} \quad (3.78)$$
$$z_T = \frac{50 \times 4 \times 118 + 19,75 \times 4 \times 106,125 + 3,5 \times 4 \times 82 + 14,5 \times 4 \times 52,5 + 10,75 \times 4 \times 9,375 + 50 \times 4 \times 2}{50 \times 4 + 19,75 \times 4 + 3,5 \times 4 + 14,5 \times 4 + 10,75 \times 4 + 50 \times 4}$$
$$z_T = 62,26 \text{ mm}$$

Pozice těžiště na ose y není počítána, protože není pro následující výpočty stejně jako v předchozím případě potřebná.

Kvadratický moment průřezu k ose y

Ve výpočtu je bráno v potaz stejné zeslabení otvory v nosníku jako v předchozím případě.

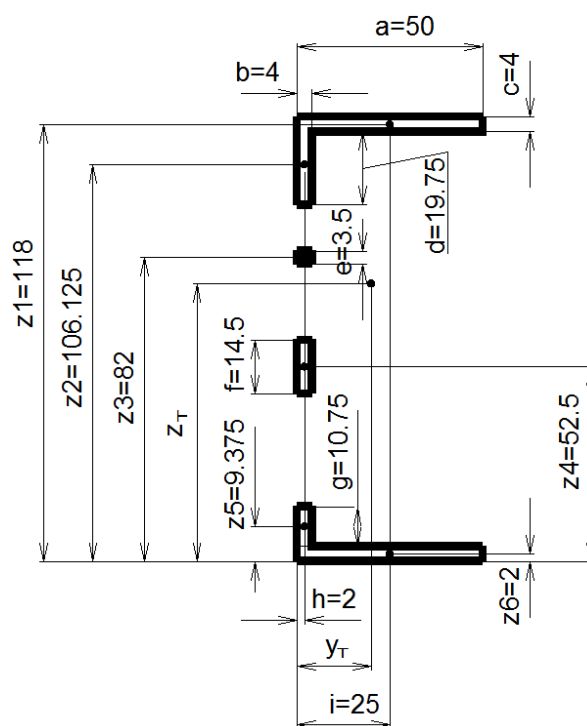
$$J_{yT} = \frac{a \times c^3}{12} + (z_1 - z_T)^2 \times a \times c + \frac{b \times d^3}{12} + (z_2 - z_T)^2 \times d \times b + \frac{b \times e^3}{12} + (z_3 - z_T)^2 \times e \times b + \frac{e \times f^3}{12} + (z_T - z_4)^2 \times f \times e + \frac{e \times b^3}{12} + (z_T - z_5)^2 \times b \times e + \frac{a \times c^3}{12} + (z_T - z_6)^2 \times a \times c \quad (3.79)$$
$$J_{yT} = \frac{50 \times 4^3}{12} + (118 - 62,26)^2 \times 50 \times 4 + \frac{4 \times 19,75^3}{12} + (106,125 - 62,26)^2 \times 19,75 \times 4 + \frac{4 \times 3,5^3}{12} + (82 - 62,26)^2 \times 3,5 \times 4 + \frac{4 \times 14,5^3}{12} + (62,26 - 52,5)^2 \times 14,5 \times 4 + \frac{4 \times 10,75^3}{12} + (62,26 - 9,375)^2 \times 10,75 \times 4 + \frac{50 \times 4^3}{12} + (62,26 - 2)^2 \times 50 \times 4$$
$$J_{yT} = 1635439,5 \text{ mm}^4$$

Průřezový modul k ose y

$$W_y = \frac{J_{yT}}{z_T} \quad (3.80)$$

$$W_y = \frac{1635439,5}{62,26}$$

$$W_y = 26267,9 \text{ mm}^3$$



Obrázek 3.21 – Upravený, zmenšený průřez univerzálního nosníku

Reakce v podporách nosníku

Hodnoty převzaty ze vzorců 3.72 a 3.73.

$$R_A = 12125 \text{ N}$$

$$R_B = 12125 \text{ N}$$

Ohybový moment

Hodnota převzata ze vzorce 3.74.

$$M_o = 5310750 \text{ Nmm}$$

Napětí v univerzálním nosníku

$$\sigma_o = \frac{M_o}{W_y} \quad (3.81)$$

$$\sigma_o = \frac{5310750}{26267,9}$$

$$\sigma_o = 202,2 \text{ MPa}$$

Koeficient bezpečnosti materiálu 11 373

$$k_s = \frac{R_e}{\sigma_c} \quad (3.82)$$

$$k_s = \frac{200}{202,2}$$

$$k_s = 0,99$$

Koeficient bezpečnosti materiálu 11 523

$$k_s = \frac{R_e}{\sigma_c} \quad (3.83)$$

$$k_s = \frac{320}{202,2}$$

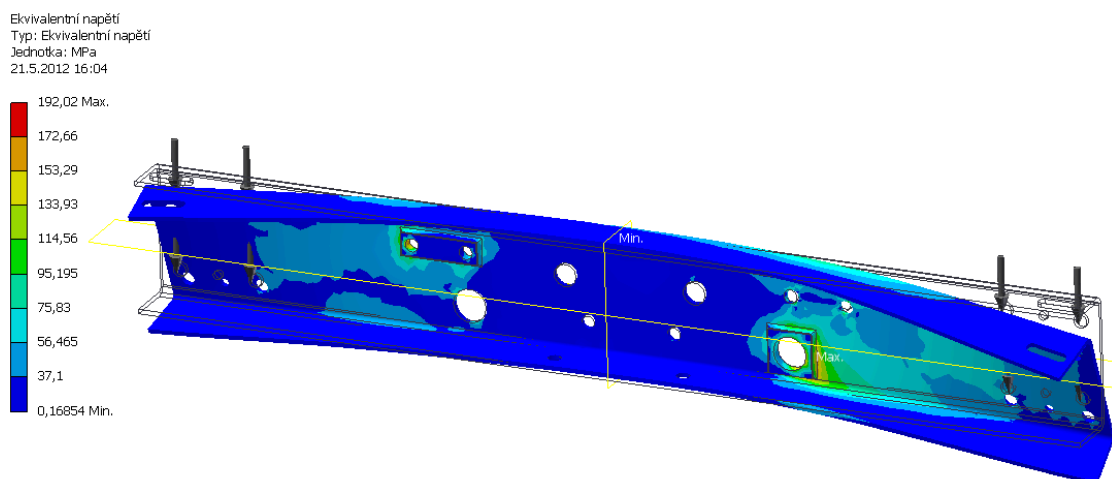
$$k_s = 1,58$$

Nosník zmenšený o 20mm je při použití materiálu 11 523 plně použitelný a umožňuje ještě případné další zmenšení. Pro porovnání byla zjištěna bezpečnost i pro materiál 11 373. Podle očekávání bezpečnost už je nevyhovující.

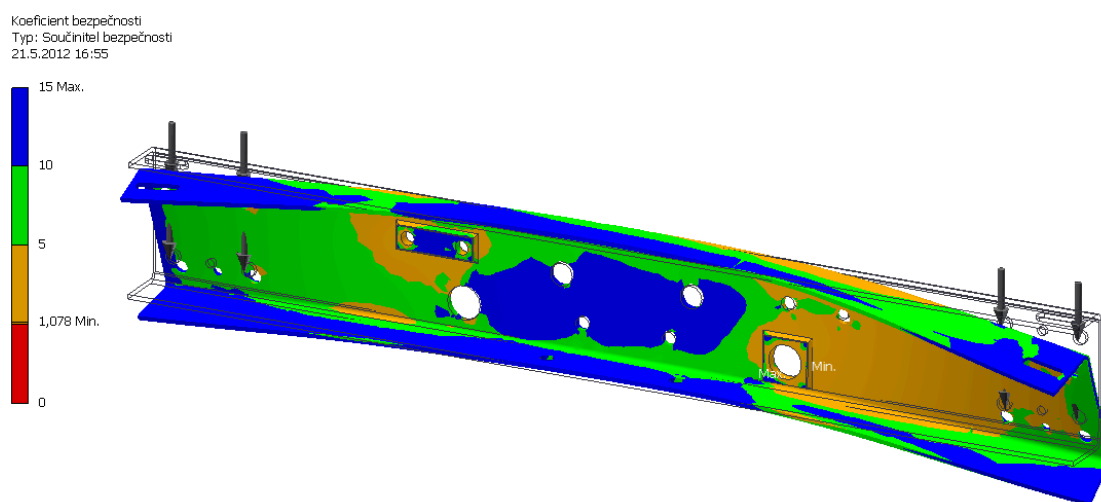
Kontrola napětí v horním nosníku

Veškeré vazby a síly jsou stejné jako v předchozím případě, jediný rozdíl je ve změněné výšce kontrolovaného nosníku.

Pevnostní analýza je aplikovaná přímo na nosník se zpevněním. Hodnota výsledného maximálního napětí je o 46Mpa větší s ještě stále dostačujícím koeficientem bezpečnosti.



Obrázek 3.22 – Upravený, zmenšený průřez univerzálního nosníku



Obrázek 3.23 – Upravený, zmenšený průřez univerzálního nosníku

4 ZÁVĚR

Cílem této bakalářské práce bylo zjistit vnitřní reakce a napětí v jednotlivých částech rámu.

Začal jsem výpočtem základních parametrů nutných pro zatížení podlahy kabiny. Provedl jsem ověření pomocí zjednodušeného modelu zda je možné použít program RuckZuck k výpočtu reakcí v ověřovaném rámu. Výsledky se v jednom ze dvou výpočtových modelů velice podobali, takže jsem usoudil že je program k výpočtu vhodný.

Následně jsem pomocí programu RuckZuck vytvořil několik způsobů zatížení podlahy nákladem za běžného provozu a za působení zachycovačů. Z hodnot jsem spočítal koeficient bezpečnosti, který vycházel nejhůře v kapitole 3.5: spojité zatížení tíhou kabiny, nosnost dle výpočtu při působení zachycovačů. Hodnota byla 1,26 což je ještě pro provoz výtahu dostatek.

Napětí v šikmé výztuze nabývalo poměrně malých hodnot, takže nebylo nutné ani počítat koeficient bezpečnosti.

Posledním krokem byl výpočet napětí v univerzálním nosníku a jeho případné úpravy. Napětí v nosníku jsem počítal při dosednutí na nárazník, kdy v něm vznikaly největší ohybové momenty. Z výsledků vyplynulo, že je možné dokonce ještě zmenšit velikost nosníku z původních 140mm na 120mm. Následně jsem provedl kontrolu nosníku na koncentraci napětí při použití v hlavě rámu pro přenos sil do závěsu lan pomocí programu Inventor. Z výsledků vyplynulo, že dochází ke koncentraci napětí v otvorech pro uchycení závěsu, nejvyšší dosahovaná hodnota byla 244MPa. Tuto hodnotu se povedlo snížit přivařením výztužného plechu do míst otvorů uchycení závěsu na vynikajících 146MPa. Následně jsem takto vyztužený nosník zmenšil o 20mm a opět podrobil pevnostní analýze. Hodnota napětí se v jednom místě uchycení závěsu zvedla na ještě přijatelných 192MPa. Takže závěrem lze doporučit zmenšení nosníku o 20mm v případě vyztužení otvorů závěsu lan. Takto upravený nosník je na výkrese v příloze.

5 POUŽITÁ LITERATURA

a) Knižní publikace

- [1] LENERT, J. Pružnost a pevnost I, 1. vyd., Ostrava, VŠB-TUO, 1998
- [2] Juliš, K., Tepřík, O., Slavík, A. Statika, Praha, SNTL, 1987
- [3] Janovský, L., Doležal, J. Výtahy a eskalátory, Praha, SNTL, 1980
- [4] Červenka, V., Hanuš, R., Zdvihací zařízení, Praha, SNTL, 1989
- [5] Leinveber, J., Řasa, J., Vávra, P. Strojnické tabulky, Praha, Scientia, 1999

b) Normy

- [6] Norma ČSN EN 81-1+A3 Bezpečnostní předpisy pro konstrukci a montáž výtahů (Část 1: Elektrické výtahy), Praha, UNMZ, 2010.

c) Internetové zdroje

- [7] www.globalspec.com
- [8] www.kone.com
- [9] www.otis.com
- [10] science.howstuffworks.com
- [11] www.toshiba-elevator.co.jp
- [12] lift-components.cz
- [13] www.schlosser.de

6 SEZNAM PŘÍLOH

- | | | |
|-----|-----------------------|--|
| [A] | Vyztužený uni. nosník | Sestava upraveného univerzálního nosníku |
| [B] | Univerzální nosník | Výrobní výkres upraveného nosníku |